

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

UNIVERSITE ABDELHAMID BEN BADIS
FACULTE DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Thèse :

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat LMD

Option :

Nutrition et sciences des aliments

Par BOUHALLA Asma Warda

THEME :

Formulation d'une farine de céréale enrichie de noix de terre
"*Bunium Bulbocastanum*": Propriétés physico-chimiques et
aptitudes technologique.

Membres du jury :

Jury	Nom et prénom	Grade	Etablissement
Président	Benamar Narjess	Professeur	Université de Mostaganem
Directeur de thèse	BENKADA Ahmed Mohamed Ali	Professeur	Université de Tissemsilt
Co-Directeur de thèse	Benabdelmoumene djilali	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur	Beghalia Mohamed	Professeur	Université de Tissemsilt
Examineur	Ait Saada Djamel	Professeur	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2024-2025

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à remercier Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la santé pour mener à bien ce travail.

*Je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance à Monsieur le Professeur **BENKADA Ahmed Mohamed Ali**, qui a bien voulu accepter de m'encadrer.*

*Je remercie également Madame le Professeur **Benamar Narjess**, d'avoir accepté de présider le jury*

*Aussi à Monsieur le Professeur **Beghalia Mohamed**, pour avoir accepté de juger ce travail.*

*Je remercie Monsieur le Docteur **Ait Saada Djamel**, pour avoir accepté de juger ce travail. Votre disponibilité, vos conseils éclairés et votre enthousiasme m'ont été d'une aide précieuse tout au long de ce processus. Merci infiniment.*

*Un grand merci à Monsieur le Docteur **Benabdelmoumene Djilali**, pour son soutien constant et ses encouragements. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour toutes les connaissances qu'il m'a transmises, ainsi que pour sa précieuse assistance tout au long de mes recherches.*

*Je tiens également à remercier chaleureusement mes collègues des laboratoires, notamment **Ahmed Cheraa, Bounoua Nouredine, Youcef Lagrini, et Wassila Benhamouda**, pour leur collaboration, leurs conseils et leur soutien. Je n'oublie pas non plus le Pr. **Dahmouni** ainsi que tous ceux qui ont contribué à l'élaboration des articles issus de ce travail.*

DEDICACES

*Je dédie ce travail à la mémoire de mon grand-père **Bouhalla Bendhiba**, que Dieu l'accueille dans Son paradis.*

*À ma mère, pour son soutien, à mon père, que Dieu le protège, à mon frère **Abdenour**, à ma sœur **Soria***

*À mon petit frère **Adem**, À Mes neveux et nièces **Ali, Warda, Abdeldjalil, Sérine**.*

*À ma très chère amie et sœur **Noria**, pour son soutien constant et son amitié précieuse.*

À toute ma famille

Je dédie également ce travail à tous mes amis et collègues, pour leur encouragement, leur amitié et leur collaboration.

Résumé

La noix de terre, également appelée *Bunium bulbocastanum*, est une plante médicinale et alimentaire largement utilisée dans les pratiques traditionnelles en Algérie, reconnue pour ses propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et ses effets bénéfiques potentiels sur les désordres endocriniens. Cependant, peu d'études scientifiques ont exploré ses composés bioactifs et ses applications pratiques. Cette recherche vise à caractériser les propriétés phytochimiques, antioxydantes et antimicrobiennes des tubercules de *B.bulbocastanum* collectés dans deux régions algériennes, Mostaganem et Relizane, et à évaluer leur impact dans l'alimentation animale pour améliorer les performances zootechniques. Des échantillons de tubercules ont été collectés, nettoyés, séchés, puis réduits en poudre pour des analyses phytochimiques, rhéologique, biologiques et zootechniques. Nos résultats révèlent que la farine de noix de terre est composée de 13,01% (eau), 3,38% (matière grasse), 7,27 % (protéine). Se caractérise par un faible indice de chute, représentant l'activité amylasique, avec des valeurs allant à 169,2. Les polyphénols ont été quantifiés à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu, révélant une teneur de 11,65 mg EAG/g pour Mostaganem et 7,35 mg EAG/g pour Relizane, soit une différence significative de 36,88 % ($p < 0,05$). Les flavonoïdes ont atteint 9,42 mg EQ/g à Relizane et 4,69 mg EQ/g à Mostaganem, représentant une différence de 50,15 %. Les tanins étaient également plus élevés dans les échantillons de Mostaganem ($1,30 \pm 0,08$ mg EC/g) que dans ceux de Relizane (0,69 mg EC/g), avec une variation de 46,92 %. L'activité antioxydante, mesurée par le test DPPH, a montré une inhibition de 70,14 % pour Relizane et 40,90 % pour Mostaganem, indiquant une meilleure capacité antioxydante des extraits de Relizane. Les tests antimicrobiens réalisés contre cinq micro-organismes pathogènes (*Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Staphylococcus aureus*) ont révélé une activité significative. Les extraits de Mostaganem ont montré une zone d'inhibition maximale de $21,00 \pm 0,75$ mm contre *Staphylococcus aureus*, suivie de $10,00 \pm 3,05$ mm contre *Candida albicans* et $9,66 \pm 0,57$ mm contre *Escherichia coli*. Les extraits de Relizane ont affiché une activité antimicrobienne similaire contre *Staphylococcus aureus* ($20,00 \pm 2,64$ mm) et une inhibition notable de $14,66 \pm 2,64$ mm contre *Candida albicans* et $14,33 \pm 1,15$ mm contre *Escherichia coli*. Ces résultats confirment le potentiel antimicrobien des extraits de *Bunium bulbocastanum*. L'analyse LC-MS/MS a identifié 43 composés bioactifs, incluant l'acide férulique, la naringénine et le syringol. Les composés les plus abondants comprenaient le syringol (238,08 mg/L), l'acide férulique (193,18 mg/L) et la naringénine (16,05 mg/L), connus pour leurs effets antioxydants et anti-inflammatoires.

L'intégration de farine de *B.Bulbocastanum* dans l'alimentation de lapins *Tête de lion* a amélioré leurs performances zootechniques. Une augmentation de poids significative a été observée, avec un gain pondéral moyen de $38,7 \pm 2,3$ g/jour dans le groupe supplémenté comparé à $28,4 \pm 1,9$ g/jour dans le groupe témoin. Les niveaux hormonaux ont également été modifiés : les groupes hyperthyroïdiens ont montré une augmentation de T3 ($1,76 \pm 0,12$ ng/mL) et de T4 ($3,45 \pm 0,21$ µg/dL), tandis que la TSH a été réduite ($0,56 \pm 0,08$ mUI/L). La créatinine était plus basse dans le groupe traité avec de la farine ($10,2 \pm 0,6$ g/L contre $14,35 \pm 0,8$ g/L dans le groupe témoin), et les niveaux d'urée sont restés stables ($0,30 \pm 0,02$ g/L). Ces résultats montrent que *Buniumbulbocastanum* possède des propriétés phytochimiques et biologiques prometteuses, renforçant son potentiel comme ingrédient fonctionnel pour les industries pharmaceutiques et agroalimentaires. Les différences significatives entre les extraits des deux régions soulignent l'importance des conditions géographiques sur la composition biochimique. Cette étude ouvre des perspectives pour une valorisation durable et scientifique de cette ressource locale.

Mots clés: Thyroïde, Bunium, hormones, lapins, Farine.

Abstract

Bunium bulbocastanum (commonly known as the earth nut) represents a plant of both medicinal and edible value with extensive use in traditional practices of Algeria and attributed antioxidant and antimicrobial properties with certain possible benefits in endocrine disorders. However, limited scientific studies have examined its bioactive compounds and practical applications. This research aims to characterize the phytochemical, reological, antioxidant, and antimicrobial traits of *B.bulbocastanum* tubers collected from Mostaganem and Relizane in Algeria and also to work on the animal feed of the tubers so as to ameliorate the zootechnical performance.

Tubers were obtained, cleaned, dehydrated, and powdered through processes of distillation; Our results reveal that groundnut flour is composed of 13.01% (water), 3.38% (fat), 7.27% (protein). It is characterized by a low falling index, representing amylase activity, with values ranging up to 169.2. The polyphenols were calculated through the Folin-Ciocalteu reagent. The amounts were found to be 11.65 ± 0.28 mg EAG/g in Mostaganem and 7.35 ± 0.18 mg EAG/g in Relizane, from which the significant difference of 36.88% ($p < 0.05$) was deduced. Respectively, there were discovered flavonoids measuring 9.42 ± 0.43 mg EQ/g and 4.69 ± 0.38 mg EQ/g in supports Relizane and Mostaganem, thus a great variation of 50.15%. The tannins were more concentrated in the Mostaganem samples: 1.30 ± 0.08 mg EC/g, as opposed to 0.69 ± 0.08 mg EC/g in Relizane, with a difference of 46.92%. The antioxidant potential, as measured through the DPPH methodology, was around $70.14 \pm 0.89\%$ in Relizane and $40.90 \pm 0.08\%$ in Mostaganem, which denotes higher antioxidant potential for the Relizane extracts.

The antimicrobial assay against five pathogenic organisms (*Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus*) demonstrated appreciable activity. The extracts from Mostaganem revealed a maximum inhibition zone of 21.00 ± 0.75 mm against *Staphylococcus aureus*, followed by 10.00 ± 3.05 mm against *Candida albicans* and 9.66 ± 0.57 mm against *Escherichia coli*. Relizane extracts showed comparable antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* (20.00 ± 2.64 mm), and the inhibition noted against *Candida albicans* and *Escherichia coli* being 14.66 ± 2.64 mm and 14.33 ± 1.15 mm correspondingly created a situation affirming the extraordinary antimicrobial potency of the extracts of *Bunium bulbocastanum*.

Fourty-three bioactive compounds expressed, amongst others, ferulic acid, naringenin, and syringol were identified through LC-MS/MS methods. Qualitative HPLC assays further showed that syringol at 238.08 mg/L, ferulic acid at 193.18 mg/L, and naringenin (16.05 mg/L) are classified amongst dietary antioxidants and anti-inflammatory agents. The dietary inclusion of Bunium flour has been reported to exert an improving debilitation on the zootechnical performance of Lion Head rabbits. These dietary inclusion leads to significant animal-weight gain. The average daily weight gain of the supplemented group was, therefore, 38.7 ± 2.3 g/day whereas that of the control group was 28.4 ± 1.9 g/day. Changes in the level of hormones were noted. In other words, the hyperthyroid groups had increased T3 (1.76 ± 0.12 ng/mL) and T4 (3.45 ± 0.21 μ g/dL), while TSH was reduced (0.56 ± 0.08 mUI/L). Creatinine levels were found to be significantly lower within the flour-fed group (10.2 ± 0.6 g/L vs 14.35 ± 0.8 g/L in the control group), and urea levels were unaltered (0.30 ± 0.02 g/L).

The observation therefore demonstrates that *Bunium bulbocastanum* has an excellent phytochemical and biological property that very well reinforces its potential as a functional ingredient in the pharmaceutical and agro-food sectors. Moreover, the remarkable difference observed within the extracts from the two geographical regions underscores the importance of geographical conditions in determining biochemical composition. This study paves the way for sustainable and scientific valorization of this local resource.

Keywords: Thyroid, Bunium, hormones, rabbits, flour.

ملخص

البونيوم بوليكاستانوم، أو الجوز الأرضي، هو نبات طبي وغذائي يُستخدم على نطاق واسع في الممارسات التقليدية في الجزائر، ويُعرف بخصائصه المضادة للأكسدة والمضادة للميكروبات وتأثيراته المفيدة المحتملة على الاضطرابات الغدد الصماء. ومع ذلك، هناك القليل من الدراسات العلمية التي استكشفت مركباته النشطة حيويًا وتطبيقاته العملية. يهدف هذا البحث إلى وصف الخصائص الفيتوكيميائية والمضادة للأكسدة والمضادة للميكروبات للدرنات من بونيوم بوليكاستانوم المجمعة في منطقتين جزائريتين، مستغانم وغليزان، وتقييم تأثيرها في تغذية الحيوانات لتحسين الأداءات الزراعية الحيوانية. تم جمع عينات من الدرناات، وتنظيفها، وتجفيفها، ثم طحنها لإجراء تحليلات فيتوكيميائية وبيولوجية وزراعية حيوانية. تكشف نتائجنا أن دقيق الجوز المطحون يتكون من 13.01% (ماء)، 3.38% (دهون)، 7.27% (بروتين). يتميز برقم هبوطي منخفض يمثل نشاط الأميليز، حيث تتراوح قيمه إلى 169.2. تم قياس محتوى البوليفينول باستخدام كاشف فولين-سيكالتو، حيث أظهرت النتائج محتوى قدره 0.28 ± 11.65 ملغ/عAG غ لمستغانم و 0.18 ± 7.35 ملغ/عAG غ لغليزان، مما يدل على فرق معنوي قدره 36.88. ($p < 0.05$). بلغت نسبة الفلافونويدات 9.42 ± 0.43 ملغ/عEQ غ في غليزان و 0.38 ± 4.69 ملغ/عEQ غ في مستغانم، مما يمثل فرقاً قدره 50.15%. كانت نسبة التانينات أيضاً أعلى في عينات مستغانم (0.08 ± 1.30 ملغ/عEC غ) مقارنةً بتلك من غليزان (0.08 ± 0.69 ملغ/عEC غ)، مع اختلاف قدره 46.92%. أظهرت النشاط المضاد للأكسدة، المقاس بواسطة اختبار DPPH، تثبيطاً قدره 0.89 ± 70.14 % لغليزان و 0.08 ± 40.90 % لمستغانم، مما يشير إلى قدرة مضادة للأكسدة أفضل لاستخراجات غليزان.

أظهرت الاختبارات المضادة للميكروبات التي أجريت ضد خمسة كائنات دقيقة مُمرضة (المكورات العنقودية الذهبية، الإشريكية القولونية، الزائفة الزنجارية، الكلبسيلا الرئوية، وكنديدا ألبكانس) نشاطاً ملحوظاً. أظهرت المستخلصات من مستغانم منطقة تثبيط قصوى قدرها 0.75 ± 21.00 مم ضد المكورات العنقودية الذهبية، تليها 3.05 ± 10.00 مم ضد كنديدا ألبكانس و 0.57 ± 9.66 مم ضد الإشريكية القولونية. أظهرت مستخلصات غليزان نشاطاً مضاداً للميكروبات مماثلاً ضد المكورات العنقودية الذهبية (2.64 ± 20.00 مم) وتثبيطاً ملحوظاً قدره 2.64 ± 14.66 مم ضد كنديدا ألبكانس و 1.15 ± 14.33 مم ضد الإشريكية القولونية. تؤكد هذه النتائج الإمكانيات المضادة للميكروبات لاستخراجات البونيوم بوليكاستانوم.

حددت تحليل LC-MS/MS 43 مركباً نشطاً حيويًا، بما في ذلك حمض الفيروليك، النارينجين، والسيرينغول. كانت المركبات الأكثر وفرة تشمل السيرينغول (238.08 ملغ/لتر)، حمض الفيروليك (193.18 ملغ/لتر) والنارينجين (16.05 ملغ/لتر)، المعروفة بتأثيراتها المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات. أدت إضافة دقيق البونيوم إلى تغذية الأرانب ذات رأس الأسد إلى تحسين أدائها الزراعي الحيواني. لوحظت زيادة وزن ملحوظة، مع زيادة وزن متوسطة قدرها 2.3 ± 38.7 غ/يوم في المجموعة المضافة مقارنةً بـ 1.9 ± 28.4 غ/يوم في المجموعة الضابطة. تم أيضاً تعديل المستويات الهرمونية: أظهرت المجموعات ذات فرط نشاط الغدة الدرقية زيادة في $T3$ (1.76 ± 0.12)

نانوغرام/مل) و (3.45 ± 0.21) T4 ميكروغرام/ديسيلتر)، بينما تم تقليل (0.56 ± 0.08) TSH م/لتر). كانت مستويات الكرياتينين أقل في المجموعة المعالجة بالدقيق (0.6 ± 10.2 غ/لتر مقابل 0.8 ± 14.35 غ/لتر في المجموعة الضابطة)، وظلت مستويات اليوريا مستقرة (0.02 ± 0.30 غ/لتر).

تظهر هذه النتائج أن بونيوم بوليكاستانوم يمتلك خصائص فيتوكيميائية وبيولوجية واعدة، مما يعزز إمكاناته كمكون وظيفي للصناعات الصيدلانية والغذائية. تشير الفروق الملحوظة بين مستخلصات المنطقتين إلى أهمية الظروف الجغرافية على التركيبة الكيميائية الحيوية. تفتح هذه الدراسة آفاقاً للتأمين المستدام والعلمي لهذه المورد المحلي.

الكلمات المفتاحية: الغدة الدرقية، بونيوم، الهرمونات، الأرناب، الدقيق.

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

I. Évaluation du potentiel antioxydant, antibactériens et Identification des composés bioactifs de l'extrait de tubercule de « *Bunium Bulbocastanum* »

Synthèses bibliographique

Introduction.....	01
1. Tubercules.....	06
1.1.Noix de terre.....	06
1.2.Taxonomie.....	07
1.3.Effets thérapeutiques du <i>Bunium Bulbocastanum</i>	08
1.4.Analyse des effets des extraits organiques de <i>buniumin crassatum</i> sur les données sanguines chez les lapines.....	08
1.5.Valeur nutritionnelle du <i>B. crassatum</i> et son impact sur le poids et la glande thyroïdienne chez les rats.....	09
2. Aliments fonctionnels	09
2.1.Définition.....	09
2.2.Objectifs et classement des aliments fonctionnels.....	10
3. Composés phénoliques.....	10
3.1.Généralités.....	10
3.2. Structures chimiques et classification.....	11
3.3. Composés phénoliques du <i>Bunium bulbocastanum</i>	11

Partie expérimentale

1. Matériel et méthodes.....	13
2. Résultats et discussion.....	23
3. Conclusion.....	33

II. Caractérisation de la farine de noix de terre

Synthèses bibliographique

Introduction.....	36
1. Généralités sur la panification mixte.....	37
2. Rôle des ingrédients.....	38
3. Etapes du procédé et leur rôle en panification.....	39
4. Propriétés rhéologiques des pâtes.....	42

Partie expérimentale

1. Matériel et méthodes.....	44
2. Résultats et discussion.....	53
3. Conclusion.....	68

III. Qualité de carcasse et de viande des lapins nourris au tubercule de noix de terre

Synthèses bibliographique

Introduction.....	69
1. Cuniculture.....	70
1.2.Définition et classification taxonomique du lapin.....	70
1.3.Origine du lapin « <i>Oryctolagus cuniculus</i> ».....	70
1.4.Morphologie extérieure du lapin.....	71
1.5.Alimentation des lapins.....	71
1.6.Comportement reproductif.....	72
1.7.Taille ou poids adultes.....	73
1.8.Intérêts du lapin pour la recherche.....	73
1.9.Viande lapine.....	74

Partie expérimentale

1. Matériel et méthodes.....	76
2. Résultats et discussion.....	83
3. Conclusion.....	93

IV. Effet d'un régime enrichi de noix de terre sur les hormones thyroïdiennes, créatinine et l'urée chez les lapins

Synthèses bibliographique

Introduction.....	94
-------------------	----

1. Fonction thyroïdienne.....	95
1.1.Thyroïde.....	95
1.2.Biosynthèse des hormones thyroïdiennes.....	95
1.3.Régulation de la fonction thyroïdienne par la thyrotropine (TSH).....	97
2. Dysfonctionnement thyroïdien.....	97
2.1.Hyperthyroïdie.....	97
2.2.Hypothyroïdie.....	98
3. Antithyroïdiens de synthèse (Carbimazole).....	98
4. Hormones thyroïdiennes de synthèses (Levothyrox).....	98

Partie expérimentale

1. Matériel et méthodes.....	99
2. Résultats et discussion.....	102
3. Conclusion.....	106

Résultats et discussion générale.....108

Conclusion générale.....116

Références bibliographiques

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification de noix de terre

Tableau 02 : Origine et nature des souches utilisées.

Tableau 03 : Composition en polyphénols dans l'extrait de *Bunium bulbocastanum*

Tableau 04 : Activité antibactérienne des extraits Du tubercule du *B.Bulbocastanum*

Tableau 05: LC-MS/MS de la fraction chloroformée de l'extrait de *B.bulbocastanum* « Relizane ».

Tableau 06: LC-MS/MS de la fraction chloroformée de l'extrait de *B.bulbocastanum* « Mostaganem ».

Tableau 07: concentration en métaux lourds du *Bunium Bulbocastanum* (mg/kg).

Tableau 08:Régions des échantillons de noix de terre étudiés

Tableau 09 : caractérisation des farines de base, farine de blé, farine de maïs et riz

Tableau 10 : Composition des échantillons

Tableau 11: Composition physicochimique de différentes farines du tubercule du *B.Bulbocastanum*.

Tableau 12 : Caractéristiques de la farine de terre-noix et du blé tendre.

Tableau 13: Caractéristiques de la farine de terre-noix et farine de maïs

Tableau 14 : Caractéristiques de la farine de terre-noix et farine de riz.

Tableau 15 : Caractéristiques socio-démographiques des enquêtées

Tableau 16: Principales suggestions pour la préparation des aliments granulés

Tableau 17:valeur nutritionnel de la viande selon les différentes espèces

Tableau 18 : Modalité de Provocation et traitement du dysfonctionnement de la thyroïde

Tableau 19: Poids corporel et gain de poids quotidien moyen (GMQ) en réponse à une supplémentation de 35 % en Talghouda et à des traitements pharmacologiques chez les lapins ayant une dysfonction thyroïdienne induite

Tableau 20: Effets d'un régime supplémenté avec *Bunium bulbocastanum* sur le développement des différentes parties de la carcasse des lapins présentant différentes dysfonctions de la glande thyroïdienne.

Tableau 21 : Résultats concernant les valeurs de pH.

Tableau 22 : Teneur de matière sèche est indiqué pour 100 grammes de viande.

Tableau 23 : Teneur de cendre indiqué pour 100 grammes de viande

Tableau 24 : Teneur en protéines indiqué pour 100 grammes de viande

Tableau 25 : Les valeurs des hormones thyroïdiennes dans le sang de la souche de tête de lion.

Tableau 26: concentration plasmique de créatinine

Tableau 27: Concentration plasmatique de l'urée

Liste des figures

Figure 01 : Représentation de la plante de *Bunium bulbocastanum*

Figure 02: Caractéristiques rhéologiques de la farine de terre et du blé tendre

Figure 03 : Présentation graphique des résultats des réponses sur la source des plantes médicinales utilisées

Figure 04 : Présentation graphique des résultats des réponses sur conscience sur l'utilisation des plantes médicinales

Figure 05 : Présentation graphique des résultats des réponses sur la source de la noix de terre 'Telghoud'

Figure 06 : Présentation graphique des résultats des réponses sur la forme d'utilisation de la noix de terre, fréquence et modalités de traitement

Figure 07: Phylogénie simplifiée illustrant les familles et les genres de Lagomorphes

Figure 08 : Diagramme du processus d'abattage

Figure 09 : Biosynthèse des hormones thyroïdiennes

Figure10 : Prélèvements sanguins des lapins

Liste des abréviations

AFNOR : L'association française de normalisation

AOAC : L'Association des communautés analytiques « Association of Analytical Communities »

ATS : Antithyroïdiens de synthèse

Aw : Activité de l'eau

AWDT : Agar Well Diffusion Test

BHIB : Brain Heart Infusion Broth

Cu : Cuivre

DMS : Degrés, minutes, secondes

DPPH: 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle

EAG: équivalent acide gallique

EC : Equivalent catéchine

EC: Equivalent catéchine

EQ: équivalent de quercétine

FT3 : Forme libre de triiodothyronine

FT4 : Forme libre de la thyroxine

GLDH : Glutamate déshydrogénase

GMQ : Gain moyens quotidien

Hg : Mercure

ISO : Organisation internationale de normalisation

LC-MS/MS : liquide couplée à la spectrométrie de masse

MG : Matière grasse

NT : Noix de terre

OMS : Organisation mondiale de la santé

Pb : Plomb

Smet : Syndrome métabolique

TPO : Thyroperoxydase

TSH : Hormone stimulant la thyroïde

UHPLC : Chromatographie liquide à ultra haute performance

UTM : Universal Transverse Mercator

Introduction générale

Introduction générale

La recherche d'innovation dans notre alimentation témoigne d'une volonté collective de répondre aux enjeux de santé publique liés à une alimentation déséquilibrée, particulièrement en ce qui concerne la prévention des maladies chroniques. Dans ce contexte, les alicaments, ou aliments fonctionnels, émergents comme une solution prometteuse, intégrant les bienfaits thérapeutiques d'aliments naturels et de plantes pour offrir des propriétés préventives et curatives (El-Saadony et *al.*,2023; Huang et *al.*, 2020; Geissler et Powers, 2023). Ces produits, à l'intersection de la nutrition et de la médication, incarnent une approche innovante de la santé et du bien-être, mettant en lumière le potentiel des composés bioactifs, tels que les polyphénols, dans la prévention et le traitement de diverses pathologies (Bouyahya, 2016).

Les alicaments se caractérisent par leur double rôle : en plus de fournir des nutriments essentiels, ils renferment des ingrédients biologiquement actifs qui peuvent prévenir les maladies et améliorer le bien-être général. Ils peuvent être enrichis en vitamines, minéraux, fibres, probiotiques, antioxydants, ou acides gras essentiels. Comme le soulignent Alongi et Anese (2021), la conception des alicaments repose sur une approche holistique combinant la science alimentaire, la santé publique et la nutrition. De plus, Anastasiou et *al.* (2022) insistent sur le rôle crucial de l'acceptation par les consommateurs pour assurer leur succès sur le marché. En réponse aux besoins croissants de prévention des maladies chroniques et d'amélioration de la qualité de vie, ces interventions alimentaires offrent une alternative attrayante et prometteuse.

Les tubercules et les racines ont longtemps occupé une place importante dans l'alimentation humaine, remontant à des usages traditionnels ancrés dans l'histoire. La farine de tubercules, par exemple, a été étudiée pour ses propriétés nutritionnelles, comme le démontrent les recherches d'Odouhe-Egueh et *al.* (2017), qui ont montré que le biscuit contenant 50 % de farine de patate douce présente une forte teneur en minéraux, faibles en lipides, et présentent de bonnes qualités organoleptiques. De même, les travaux de Vololonirina et *al.* (2020) ont mis en évidence le potentiel de la farine de patate douce à chair blanche et à peau rouge comme ingrédient dans les produits de boulangerie sans gluten, grâce à sa capacité de gonflement et de rétention d'eau.

Dans ce cadre, le tubercule *Bunium bulbocastanum* L. (Apiaceae), connu en Algérie sous le nom de "Talgouda" émerge comme un candidat prometteur pour les aliments fonctionnels. Historiquement apprécié depuis la période post-Seconde Guerre mondiale en Algérie pour ses

Introduction générale

qualités nutritionnelles et thérapeutiques, ce tubercule est originaire des îles Baléares et d'Europe centrale (Aiouaz et Arezki, 2022). Des études ethnobotaniques (Adoui et *al.*, 2022) indiquent que la "Talghouda" a été largement utilisée dans des remèdes populaires, en particulier pour traiter les dysfonctionnements thyroïdiens, tandis que ses graines et huiles essentielles sont également employées dans des préparations alimentaires telles que le pain.

En dépit de ces connaissances traditionnelles, les études scientifiques récentes sur *Bunium bulbocastanum* demeurent limitées, surtout en dehors du cadre de la phytothérapie (Kamal et *al.*, 2022; Khanal et *al.*, 2021). Ces études ont néanmoins révélé son potentiel en tant qu'aliment, mettant en évidence ses propriétés nutritionnelles, antidiarrhéiques, et phytochimiques. Afin de combler ce vide dans la littérature scientifique, il est essentiel d'explorer davantage les caractéristiques de ce tubercule et d'examiner ses applications potentielles dans l'industrie alimentaire et la nutrition animale.

Objectifs de la thèse

Cette thèse vise à valoriser le tubercule de *Bunium bulbocastanum* en approfondissant notre compréhension de ses propriétés physicochimiques, de ses composés bioactifs, ainsi que de son impact potentiel sur la nutrition animale et humaine. Les objectifs principaux de cette recherche sont les suivants :

1. **Évaluation des composés bioactifs de *Bunium bulbocastanum*** : Identifier et caractériser les composés bioactifs présents dans le tubercule provenant de différentes régions algériennes (Sidi Ali et Ammi Moussa). Cette étape comprendra l'analyse des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des extraits végétaux, ainsi que l'identification et la quantification des composés volatils. En outre, il s'agira d'évaluer le niveau de toxicité du tubercule, notamment en ce qui concerne la présence de métaux lourds.
2. **Analyse des propriétés physicochimiques de la farine de "Talghouda"** : Analyser les effets des conditions environnementales et de la période de récolte sur les caractéristiques farine de *Bunium bulbocastanum* sur le plan physicochimique. L'incorporation de cette farine à différentes concentrations dans des farines de blé tendre, de maïs et de riz sera étudiée pour étudier les changements des caractéristiques physicochimiques et rhéologiques.

Introduction générale

3. **Intégration de la tubercule *B.Bulbocastanum* dans l'alimentation des lapins :** Évaluer l'effet de l'incorporation de *B.bulbocastanum* dans l'alimentation des lapins, en mettant l'accent sur l'impact de cette incorporation sur leurs paramètres pondéraux et la qualité de la viande. Cette étude vise à contribuer à l'amélioration des pratiques d'alimentation animale.
4. **Effet sur les lapins présentant des déséquilibres thyroïdiens :** Explorer les effets de l'incorporation du tubercule de *B.bulbocastanum* dans le régime alimentaire des lapins atteints de déséquilibres des hormones thyroïdiennes afin de déterminer les impacts potentiels sur leur métabolisme et leur santé globale.

Perspectives et Contributions

Cette thèse entend apporter une contribution significative à la compréhension des propriétés fonctionnelles et thérapeutiques de *B.bulbocastanum*, en comblant le manque d'études existantes sur ce tubercule en dehors de son usage traditionnel en phytothérapie. Les résultats attendus pourraient non seulement enrichir la littérature sur les alicaments, mais aussi ouvrir de nouvelles perspectives pour l'utilisation de la plante en question dans l'industrie agroalimentaire, en alimentation animale, et en médecine naturelle. De plus, ce travail contribuera à la valorisation des ressources végétales locales, encourageant ainsi l'utilisation durable des plantes médicinales.

À travers une approche structurée et multidisciplinaire, ce travail s'articulera autour d'une revue de la littérature sur les alicaments, les farines mixtes, la cuniculture, et les hormones thyroïdiennes, suivie d'une description détaillée des méthodologies employées pour répondre aux objectifs de cette recherche. Enfin, des recommandations pour des études futures seront formulées afin de poursuivre l'exploration du potentiel de *B.bulbocastanum*.

**I. Évaluation du potentiel
antioxydant, antibactériens
et Identification des
composés bioactifs de
l'extrait de tubercule de «
Bunium Bulbocastanum »**

Partie

Bibliographique

Introduction

Les plantes médicinales jouent un rôle fondamental dans le développement de traitements thérapeutiques et préventifs, constituant une ressource clé en médecine humaine. Selon les estimations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), environ 21 000 espèces végétales présentent un potentiel médicinal (Kouideret *al.*, 2019 ; Parfait et Lawrence, 2023). Les métabolites secondaires issus de ces plantes, tels que les alcaloïdes et les flavonoïdes, sont d'un intérêt particulier en raison de leurs diverses activités pharmacologiques. Par exemple, les alcaloïdes ont démontré des effets analgésiques et stimulants (Ricciardolo, 2023), tandis que les flavonoïdes sont largement étudiés pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires.

Le *Bunium bulbocastanum*, communément appelé noix de terre ou châtaigne de terre, appartient à la famille des Apiaceae et est désigné sous le nom local "Talghouda" en Algérie. Les investigations scientifiques récentes mettent en lumière l'intérêt croissant pour ses applications thérapeutiques potentielles. Des études antérieures (Khan *et al.*, 2013 ; Saadouniet *al.*, 2020) ont mis en évidence les propriétés antifongiques, phytotoxiques, hémagglutinantes et antibactériennes de cette espèce, suggérant un large spectre d'applications biologiques. De plus, Hazarika et al. (2016) ont rapporté que les fractions aqueuses des fruits de *B.bulbocastanum* démontrent une activité antioxydante et anticancéreuse significative, renforçant l'intérêt pour l'évaluation de ses composés bioactifs.

Dans cette optique (Bouhalla et *al.*2024) ont récemment réalisé une analyse comparative basée sur la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS), révélant la richesse des métabolites, ainsi que les propriétés antioxydantes et antibactériennes des tubercules de *B.bulbocastanum* provenant de deux régions en Algérie. Ces découvertes soulignent le potentiel de cette espèce en tant que source de composés thérapeutiques novateurs.

L'objectif de la présente étude est d'approfondir l'analyse des caractéristiques bioactives du tubercule de *B.bulbocastanum* en évaluant les spécimens collectés à partir des régions de Sidi Ali (Mostaganem) et d'Ammi Moussa (Relizane). Nous avons entrepris une évaluation systématique de leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, en intégrant également l'identification et la quantification des composés volatils présents. Par ailleurs, l'évaluation des niveaux de toxicité potentielle par l'analyse des métaux lourds a été réalisée. En adoptant

une approche intégrative alliant savoirs traditionnels et méthodes scientifiques modernes, cette étude vise à contribuer à l'identification de nouveaux agents thérapeutiques et à soutenir les efforts de conservation de la biodiversité mondiale, tout en promouvant une utilisation durable des ressources végétales médicinales.

1. Tubercules

Les tubercules, ainsi que les racines, constituent un groupe de plantes produisant des structures souterraines féculentes telles que les tubercules, les rhizomes, les cornes ou les tiges. Outre leur rôle en tant que sources d'amidon, certains tubercules stockent également d'autres types de polysaccharides qui peuvent servir de réserves d'énergie, ce qui les rend particulièrement intéressants comme sources de fibres prébiotiques (Mpikaet *al.*, 2024).

1.1. Noix de terre

Le *Bunium bulbocastanum*, également appelée noix de terre, elle est une plante herbacée vivace qui fait partie de la famille des Apiaceae.. Elle se présente sous forme d'une plante bulbeuse mesurant entre 30 et 70 cm de hauteur, avec une inflorescence en ombelle mesurant de 5 à 7 cm de diamètre. Les tiges de cette espèce sont fines, élancées et faiblement développées, présentant des stries principalement sur la partie supérieure (Figure 01). Les pédicelles ne sont pas rigides et ne s'étalent pas en forme d'étoile. Les feuilles sont disposées de manière alternée, et sont divisées 2 à 3 fois en segments étroits formant un contour globalement triangulaire (Adouiet *al.*, 2022).

Les fruits de *Bunium bulbocastanum* sont bipennatisectes, présentant des segments linéaires ou linéaire-lancéolés, et des côtés proéminents, ce qui confère à la plante un caractère aromatique. La partie souterraine est constituée d'un tubercule de forme généralement arrondie, de couleur brunâtre à l'extérieur et blanche à l'intérieur, mesurant entre 1 et 2 cm de diamètre. Les fleurs de la plante sont blanches, et les fruits mesurent de 3 à 4 mm de longueur, sans rostre, avec des nervures primaires fines et bien marquées, particulièrement visibles sur la face sèche. Les méricarpes restent contigus sur une surface mate, avec une longueur 4 à 5 fois supérieure à leur largeur, atteignant ainsi 4-5 mm. Les dents du calice sont peu apparentes. La floraison de *B.bulbocastanum* s'étend de mars à juillet (Adoui *et al.*, 2022).



Figure 01 : Représentation de la plante de *Buniumbulbocastanum*(Aouidiet al, 2022).

1.2. Taxonomie

La taxonomie de la noix de terre peut être observée de la manière suivante (Cronquist, 1981):

Tableau01 : classification de la noix de terre

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Rosidae
Ordre	Apiales
Famille	Apiacées
Espèce	<i>Bunium bulbocastanum</i>

1.3. Effets thérapeutiques du *Bunium Bulbocastanum*

Une étude menée par Hazarika et al. (2016) a démontré que la fraction aqueuse des fruits de *Bunium.B* présente des activités antioxydantes et anticancéreuses significatives, suggérant ainsi le potentiel de cette plante comme source d'agents thérapeutiques naturels.

Au Maroc, *Bunium.B* fait partie d'un mélange à base de plantes médicinales appelé "musakhan", qui comprend un total de 13 plantes. Ce mélange est traditionnellement utilisé pour améliorer la santé générale ainsi que pour le traitement de divers problèmes gynécologiques et musculo-squelettiques (Teixidor-Toneuet *al.*, 2016). *Bunium .B* est reconnu dans ce contexte pour ses propriétés antioxydantes, qui sont associées à une activité antidiabétique (Ahmad et *al.*, 2014).

En outre, les graines de *Bunium bulbocastanum* sont largement utilisées pour leurs propriétés astringentes et font partie de la pharmacopée traditionnelle dans le traitement de divers troubles.

Par ailleurs, d'autres espèces du genre *Bunium* présentent également des propriétés médicinales notables. Par exemple, *Bunium persicum* est utilisé comme antispasmodique, et est employé dans le traitement de l'obésité ainsi que de l'hypoglycémie (Lefahalet *al.*, 2017). De plus, *Bunium paucifolium* est traditionnellement utilisé pour le traitement des infections des voies urinaires (Cakilciogluet *al.*, 2011).

1.4. Analyse des effets des extraits organiques de *buniumin crassatum* sur les données sanguines chez les lapines

Chentouh et ses collègues ont mené une étude en 2018 sur les effets des extraits organiques de graines de *Bunium crassatum* sur différents paramètres hématologiques chez les lapines femelles. Le nombre de globules rouges, le volume corpusculaire moyen (MCV), la concentration moyenne d'hémoglobine corpusculaire (MCHC) et le taux d'hémoglobine dans le groupe de traitement n'ont pas été modifiés statistiquement significativement ($P > 0,05$). En comparaison avec la dose test de *Bunium.C* et avec le groupe témoin.

Toutefois, la recherche a révélé une nette augmentation du taux de lymphocytes chez les lapines traitées à des doses de 100 mg/kg/jour et 200 mg/kg/jour, ce qui laisse supposer une amélioration du système immunitaire. Selon ces résultats, l'extrait brut de *Bunium crassatum* renferme des composés bioactifs qui peuvent stimuler la réponse immunitaire. De plus, des

informations préliminaires laissent entendre que le sitostérol, un composé potentiellement présent dans *Bunium.C*, pourrait avoir des effets positifs sur la santé globale, en particulier en renforçant le système immunitaire.

1.5. Valeur nutritionnelle du *B. crassatum* et son impact sur le poids et la glande thyroïdienne chez les rats

La composition nutritionnelle des tubercules *Bunium crassatum* et leurs effets sur le poids corporel et la fonction thyroïdienne chez le rat ont été examinés dans une étude réalisée par Aiouaz et ses collègues (2022). Les conclusions ont révélé que les tubercules d'arachide contenaient une quantité de polyphénols de 37,37 mg d'équivalents d'acide gallique (GAE) par g d'extrait, tandis que la quantité de flavonoïdes était de 2,36 mg d'équivalents de quercétine (EQ) par g d'extrait. L'extrait contenait une concentration totale d'alcaloïdes de 0,214 g/g, avec 0,82 mg d'équivalents atropine (EA)/g d'extrait et 17,94 mg d'équivalents coumarine (EC)/g d'extrait.

Les tests DPPH et ABTS ont été utilisés pour évaluer l'activité antioxydante, ce qui a révélé une concentration inhibitrice à 50 % (IC50) de 1,6021 mg/ml pour le DPPH, et de 0,744 mg/ml pour l'ABTS. De plus, le pouvoir réducteur des extraits a été évalué par la capacité à réduire les ions ferriques (Fe^{3+}), obtenant une réduction de 50 % avec une concentration de 20,72 mg d'extrait.

Concernant la toxicité aiguë, on a mesuré la toxicité aiguë de la poudre de tubercule séchée chez des souris Balb-C à des doses croissantes (85, 250, 500 et 1000 mg/kg de poids corporel) sur une période courte (1 à 14 jours).

2. Aliments fonctionnels (aliments)

2.1. Définition

Les aliments, également connus sous le nom d'aliments fonctionnels, sont des aliments qui offrent des propriétés bénéfiques allant au-delà de leur simple valeur nutritionnelle. Bien qu'ils soient largement reconnus pour leurs effets positifs sur la santé, il est important de noter qu'une consommation excessive de certains aliments peut également avoir des conséquences néfastes. Par exemple, une surconsommation de β -carotène, bien que réputée

pour réduire le risque de certains cancers tels que ceux du foie et de l'œsophage, a été associée à une augmentation des cas de cancer du poumon (Bouyahya, 2016).

2.2. Objectifs et classification des aliments fonctionnels

L'objectif des aliments fonctionnels est de prévenir l'émergence de maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, l'obésité et le diabète de type 2. Selon Punthakee, Goldenberg et Katz (2018), ces maladies sont fréquemment associées au "syndrome métabolique" (SMet), qui comprend l'obésité, l'hypertension, la résistance à l'insuline, la dyslipidémie et l'hyperglycémie.

L'augmentation des cas de syndrome métabolique est largement attribuée aux modifications des habitudes alimentaires de la population, résultant en un apport calorique excessif provenant d'aliments de faible coût, souvent riches en calories, mais pauvres en nutriments essentiels, ce qui conduit à des habitudes alimentaires plus déséquilibrées (Kearney, 2010). Face à ce défi, les aliments fonctionnels offrent une solution potentielle pour améliorer la santé publique.

On peut classer les aliments fonctionnels en cinq catégories principales (Siróet *al.*, 2008) :

- a) **Aliments entiers** : Consommés dans leur forme naturelle, comme les fruits, les légumes, et les céréales complètes.
- b) **Aliments transformés** : Produits ayant subi des processus de transformation, mais qui conservent des composants bénéfiques pour la santé, tels que le yaourt et les jus de fruits.
- c) **Aliments enrichis** : Aliments auxquels des nutriments ont été ajoutés pour augmenter leur valeur nutritionnelle, comme les céréales enrichies en vitamines et minéraux.
- d) **Aliments fortifiés** : Aliments auxquels des éléments nutritifs qui n'étaient pas initialement présents ont été ajoutés, tels que le lait enrichi en vitamine D.
- e) **Produits améliorés** : Produits dont la composition a été modifiée pour renforcer leurs bienfaits pour la santé, comme les margarines enrichies en phytostérols.

3. Composés phénoliques

3.1. Généralités

Les polyphénols sont des métabolites secondaires répandus dans le règne végétal, et plus de 8 000 structures ont été identifiées jusqu'à présent. Leur structure de base est caractérisée par la présence d'au moins un noyau benzénique auquel un ou plusieurs groupes hydroxyles sont directement attachés, libres ou impliqués dans d'autres fonctions telles que des éthers, des esters ou des glycosides (Bruneton, 2015 ; Šaponjac et al., 2016).

3.2. Structures chimiques et classification

Les polyphénols ont une structure chimique caractérisée par la présence d'un ou plusieurs noyaux aromatiques hydroxylés. On classe ces composés en divers groupes selon le nombre de cycles aromatiques qu'ils ont et les éléments qui les relient. Les polyphénols sont principalement classés en phénols simples (incluant les acides phénoliques), flavonoïdes, lignanes et stilbènes (Boros, 2010). En outre, on trouve naturellement des phénols sous forme combinée de sucres et d'acides organiques.

On peut classer les polyphénols en différentes catégories :

- a) Phénols simples (C_6) : composés avec un seul cycle phénolique.
- b) Flavonoïdes ($C_6-C_3-C_6$) : Ils sont constitués de deux noyaux aromatiques reliés par un hétérocycle oxygéné.
- c) Tanins : peuvent être hydrolysables ou non hydrolysables.
- d) Stilbène ($C_6-C_2-C_6$) : Il existe deux anneaux phénoliques reliés par une chaîne carbonée.
- e) Lignane, lignine, coumestanes : composés de deux unités phénylpropane.
- f) Autres phytoestrogènes : Selon Paraskevi et Moutsatsou (2007), il y a des saponines (triterpénoïdes), des phytostérols et des phytostanols.

3.3. Composés phénoliques du *B.bulbocastanum*

Selon Hayet et al. (2017), il a été prouvé que les extraits méthanoliques des parties aériennes de *B. incrassatum* contiennent une concentration élevée de composés phénoliques totaux. L'extrait acétonique de spécimens de *B. incrassatum* provenant de M'sila (Algérie) a démontré une teneur élevée en polyphénols, tandis que les fractions d'hexane contenaient les plus grandes quantités de flavonoïdes, avec des tanins principalement présents dans l'extrait acétonique.

De plus, Karouche et al. (2020) ont réalisé une étude de dépistage chimique de *B. incrassatum*, confirmant la présence de stérols, de triterpènes, de saponines, de tanins, d'alcaloïdes et de flavones aglycones.

Partie Expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectifs de l'étude

La première partie de notre étude vise principalement à examiner les propriétés antioxydantes et l'activité antimicrobienne des composés phénoliques présents dans l'extrait de *B. bulbocastanum*. En même temps, cette étude a pour objectif d'étudier le degré de toxicité du tubercule, notamment en ce qui concerne la présence de métaux lourds, et de déterminer les composés bioactifs extraits du tubercule. L'objectif de cette étude est d'approfondir la compréhension des propriétés phytothérapeutiques de cette espèce, tout en évaluant la sécurité pour la santé humaine et environnementale, en particulier en ce qui concerne les risques potentiels associés à l'exposition aux contaminants métalliques.

2. Matériel et Méthodes

Les différentes manipulations expérimentales nécessaires à la réalisation de cette étude ont été menées dans divers laboratoires spécialisés afin pour garantir la précision et la fiabilité des résultats obtenus.

- a) Les études ont été menées au Laboratoire de Culture in vitro de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem (Département de l'agronomie) pour évaluer les polyphénols, flavonoïdes et tanins, ainsi que leur activité antioxydante.
- b) On a effectué les analyses physico-chimiques et les tests d'activité antimicrobienne dans les locaux de l'Université de l'INES de Mostaganem, au sein du laboratoire PAA (Physiologie animale appliquée) et du Laboratoire TAN (Technologie alimentaire et Nutrition).
- c) La détermination des teneurs en métaux lourds, à savoir le cuivre (Cu), le mercure (Hg), et le plomb (Pb), a été effectuée au Laboratoire MERCURE à Oran.
- d) L'identification des composés phytochimiques a été effectuée par chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse au sein du laboratoire REZGUI LAB, ce qui a permis une caractérisation détaillée des métabolites présents dans l'extrait.

2.1.Zone de prélèvement des échantillons

Dans notre recherche, l'espèce *B.bulbocastanum* a été utilisée, et les échantillons de la plante ont été récoltés dans deux zones distinctes situées dans les wilayas de Relizane et de Mostaganem, en Algérie.

Dans le Douar N'aimia, situé d à l'est de la wilaya de Mostaganem, à 59 km du chef-lieu de la wilaya, était la première zone d'échantillonnage (commune de Sidi Ali). Ce site se trouvait à 36.1° de latitude nord et 0.416667° de longitude est, soit 36°6'0" N et 0°25'0" E en DMS (degrés, minutes, secondes). Selon la Joint Operation Graphics, la position UTM de la zone était BV69, et sa référence était NJ31-13.

Située dans la commune d'Ammi Moussa, la deuxième zone d'échantillonnage se trouvait à 71 km du chef-lieu de la wilaya de Relizane. Cette zone avait des coordonnées géographiques de 35,8667 de latitude nord et 1,1166 de longitude, correspondant à 35°52'0" N et 1°7'0" E en format DMS.

La collecte d'échantillons dans ces deux zones distinctes a permis de réaliser une analyse comparative des propriétés bioactives de *B.bulbocastanum* en fonction des variations géographiques et environnementales, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des caractéristiques phytothérapeutiques de l'espèce.

2.2.Matériel végétal

2.2.1. Échantillonnage des Tubercules

L'échantillonnage des tubercules de *B.bulbocastanum* L. a été réalisé en mois de juin dans les régions de Sidi Ali (Mostaganem) et Ammi Moussa (Relizane), situées dans le nord-ouest de l'Algérie. L'identification et la classification taxonomiques de la plante ont été effectuées par des botanistes du Département d'Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Mostaganem (UMAB), conformément aux protocoles taxonomiques standards, afin de garantir une identification précise et fiable de l'espèce.

Les tubercules sélectionnés étaient frais, matures et présentaient une taille uniforme, variant de 1,5 à 2,5 cm de diamètre, avec une forme sphérique et une couleur homogène. La maturité des tubercules a été confirmée par l'absence de coloration verte et le développement complet de la structure tubéreuse. De plus, seuls les tubercules exempts de dommages visibles ou de signes de contamination ont été retenus, assurant ainsi l'intégrité des échantillons collectés.

Un nettoyage manuel initial a été réalisé pour éliminer la saleté et les débris présents sur les tubercules, suivi d'un lavage approfondi en conformité avec les protocoles établis par Attoui et al. (2021). Une inspection visuelle minutieuse a ensuite été effectuée pour garantir l'homogénéité des échantillons en termes de couleur, de taille et de forme sphérique.

2.2.2. Procédure de Séchage

Le processus de séchage a commencé par un stockage temporaire des échantillons à 4 °C afin de réduire les modifications physiologiques et chimiques potentielles. Avant le séchage, les échantillons ont été équilibrés à température ambiante. Le séchage a ensuite été effectué par convection d'air chaud à l'aide d'un déshydrateur alimentaire, réglé à 105 °C pendant 24 heures. Ce protocole a été sélectionné sur la base de recherches antérieures (Abano, 2021), qui ont indiqué que ces conditions étaient optimales pour la préservation des composés bioactifs dans des tubercules similaires.

La méthode de séchage a été réalisée conformément aux protocoles analytiques de l'AOAC (Association of Official Analytical Chemists) décrits par Chemists & Horwitz (1990), garantissant ainsi une déshydratation homogène tout en minimisant la perte de composés volatils et en préservant l'intégrité des substances bioactives. Une fois séchés, les tubercules ont été broyés en une poudre fine, ce qui a permis d'augmenter la surface d'extraction pour les procédures ultérieures d'extraction par solvant, améliorant ainsi l'efficacité de l'extraction des composés bioactifs.

2.2.3. Cohérence et Standardisation méthodologique

Les choix méthodologiques adoptés, y compris l'utilisation d'un déshydrateur alimentaire et le broyage en poudre fine, ont été validés par des références bibliographiques pertinentes ainsi que par des résultats issus d'expériences préliminaires. Le respect des directives de l'AOAC a assuré un cadre méthodologique standardisé, reproductible et conforme aux normes internationales.

Afin de garantir la fiabilité et la robustesse des résultats, des contrôles et des duplicatas ont été intégrés à chaque étape des processus d'échantillonnage et de séchage. La prise en compte des pertes potentielles de composés volatils a été assurée par un contrôle rigoureux des conditions de séchage, ainsi que par des analyses immédiates après séchage pour évaluer toute perte éventuelle de composés bioactifs.

2.3. Méthodes

2.3.1. Extraction des substances phénoliques

a) Extrait méthanolique

Les végétaux finement broyés manuellement (25g.) ont été agités dans des flacons sombres contenant 250ml de solvant organique dilué (80% : v/v) ; méthanol. Un agitateur orbital (Stuart®),

Saker à rotation réciproque (SSL2) a été utilisé pour réaliser cette opération à une vitesse de 180 rpm. Pendant 24 heures, le mélange a été passé sous vide sur du papier Wattman #1. Trois fois, cette technique a été utilisée pour améliorer l'extraction et obtenir un rendement plus élevé des déposés phénoliques. En fin de compte, les échantillons filtrés ont été regroupés (Nwosu ; 2011).

b) Détermination de la teneur en matière minérale

D'après méthode AFNOR (1985) L'incinération de la prise d'essai de l'échantillon à 550 °C dans un four à moufle pendant 3 heures permet de mesurer les cendres, avec une destruction totale de la matière organique.

On calcule le taux de cendre par la formule suivante :

$$\%MM=(P_2-P_0/P_1-P_2)\times 100.$$

P₀:poids du creuset vide (g)

P₁: poids du creuset avec la prise d'essai (g)

P₂: poids du creuset avec le poids des cendres brut(g)

c) Détermination de la teneur en matière sèche

La mesure de la matière sèche implique la déshydratation d'un poids spécifique de la prise d'essai (5g) de l'échantillon à une température de 70 °C dans une étuve pendant une période de 3 jours (AFNOR;1985). On évalue la quantité de matière sèche en effectuant un calcul :

Ainsi, le taux de matière sèche est déterminé selon la formule suivante:

$$\%H_2O = ((P_1 + P_0) - P_2 / P_1) \times 100$$

$$\%MS=100-\%H_2O$$

P₀ : Poids du creuset vide

P₁:La prise d'essai

P₂:Poids du creuset et l'échantillon après étuvage

2.3.1. Analyses phytochimiques

a) **Quantification des composés phénoliques totaux** (Milliauskas et al., 2004)

Il existe différentes techniques analytiques pour mesurer les composés phénoliques totaux, dont la plus répandue est l'utilisation du réactif de Folin-Ciocalteu. Cette étude a utilisé la spectrophotométrie pour évaluer la quantité totale de polyphénols présents dans les extraits, conformément au protocole décrit par Milliauskas et al. (2004). En d'autres termes, on a mélangé 1 ml d'extrait (à 1 mg/ml) avec 5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (2 M) préalablement dilué à dix. Une fois la solution incubée pendant 5 minutes, on a ajouté 4 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à une concentration de 75 g/l. On a effectué la courbe d'étalonnage en utilisant des concentrations d'acide gallique croissantes, allant de 0 à 100 $\mu\text{g/ml}$. Une heure après avoir été incubé à température ambiante, on a mesuré l'absorbance à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre Jenway 6715, avec de l'eau comme témoin. On a mesuré les résultats en équivalents d'acide gallique (EAG) par gramme d'extrait brut (mg EAG/g).

b) **Quantification des flavonoïdes totaux**

Chang et ses collègues (2002) ont utilisé la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl_3) pour évaluer les flavonoïdes totaux présents dans l'extrait des tubercules de *B.bulbocastanum*. Une solution d' AlCl_3 (2 %) dans le méthanol d'un volume de 0,75 ml a été mélangée avec un volume équivalent d'extrait. Après avoir incubé le mélange à l'abri de la lumière à température ambiante pendant 10 minutes, on a effectué une mesure de l'absorbance à 430 nm. On a créé une courbe d'étalonnage à partir de la quercétine comme référence. L'équivalent quercétine (EQ) par gramme de matière sèche (mg EQ/g) a été utilisé pour exprimer les informations. Toutes les opérations ont été réalisées en trois exemplaires afin de garantir la précision des données.

c) **Quantification des tanins condensés**

La méthode utilisée pour mesurer les tanins condensés a été Broadhurst et Jones (1978), avec les modifications effectuées par Heimler et al. (2006). Selon Schofield et al. (2001), le principe s'appuie sur la réaction entre le groupement aldéhydique de la vanilline et le carbone 6 du cycle A de la catéchine, créant ainsi un complexe chromophore rouge qui absorbe à 500 nm. Afin d'accomplir cela, on a ajouté 400 μl de chaque extrait à 3 ml d'une solution méthanolique de vanilline à 4 %, puis on a ajouté 1,5 ml d'acide chlorhydrique concentré. Après une réaction de 15 minutes, l'absorbance a été

mesurée à 550 nm. On a calculé la teneur en tanins condensés en utilisant une courbe d'étalonnage avec la catéchine (100-1000 µg/ml) et exprimée en équivalent catéchine (EC) par gramme de l'extrait brut lyophilisé (mg EC/g Lyo.).

2.3.2. Activités biologiques

a) Test de piégeage des radicaux DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl)

Le DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl) est un test de piégeage des radicaux libres qui repose sur la capacité du DPPH à agir comme un radical libre stable en raison de la délocalisation de l'électron non apparié, ce qui lui donne une couleur violette caractéristique et une absorption mesurable. En mélangeant une solution de DPPH avec une substance capable de céder un atome d'hydrogène ou un électron, le DPPH est réduit à 1,1-diphényl-2-(2,4,6-trinitrophényl) hydrazine (DPPH₂), ce qui provoque la disparition de la couleur violette et l'apparition d'une couleur jaune pâle résiduelle, due au groupement picryl (Molyneux, 2004).

En utilisant la méthode mentionnée par (Zakaria et al ; 2008), on a testé le pouvoir antioxydant en mélangeant 50 µl de chaque extrait méthanoïque à différentes concentrations avec 5 ml de solution méthanoïque de DPPH (0.004%).Après 30 minutes d'incubation à la température de laboratoire, on a mesuré l'absorbance à 517nm.

La capacité antioxydante des extraits a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH selon la formule suivante:

$$\text{Taux d'inhibition} = \frac{(A_{\text{blanc}} - A_{\text{échantillon}})}{A_{\text{blanc}}} \times 100$$

2.3.2. Activités antimicrobiennes

a) Origine des souches

Dans cette étude, nous avons utilisé des souches pathogènes provenant de la collection du laboratoire LMBAFS.

Tableau02: Origine et nature des souches utilisées.

Souches	Références
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	ATCC E47
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 33862
<i>Candida albicans</i>	ATCC10231

b) Extrait brute

On a obtenu l'extrait brut en macérant 100 g de poudre de *B.bulbocastanum* dans 1 L de méthanol pur. Nous avons procédé à la macération pendant 24 heures à température ambiante, puis nous avons filtré sous vide en utilisant du papier filtre Whatman N°4. Par la suite, on a concentré le filtrat obtenu à une température de 45 °C pendant une durée de 30 minutes sous une pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif de type HAHNVAPOR HS-2005V-N. L'échantillon concentré a été prélevé et stocké dans un béccher à une température de 4 °C dans l'obscurité, en suivant la méthode expliquée par Moujahid et al. (2004).

c) Réactivation des souches pathogènes**➤ Souches pathogènes utilisées**

Les souches pathogènes utilisées dans cette étude étaient : *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, et *Klebsiella pneumoniae*. On a réactivé ces souches dans un bouillon Brain Heart Infusion Broth (BHIB) et on les a incubées à 37 °C pendant 24 heures pour garantir leur pureté et les réactiver.

➤ Renouvellement et enrichissement des souches pathogènes

Les souches pathogènes ont été renouvelées et enrichies en étantensemencées dans un bouillon BHIB, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures avant chaque test d'antagonisme. Cela favorise une

culture fraîche et dynamique. Selon Kishor (2005), la densité optique a été ajustée entre 0,08 et 0,1 à une longueur d'onde de 600 nm, ce qui correspond à une concentration d'environ 108 UFC/ml.

➤ **Méthode de diffusion en puits (AWDT)**

En microbiologie, la méthode de diffusion en puits (AWDT) (Barefoot et Klaenhammer, 1983) est couramment employée pour évaluer les antibiogrammes et les antifongigrammes. La méthode consiste à diffuser un antimicrobien dans un milieu semi-solide (gélose molle) et à observer son impact sur la croissance de la souche cible. La mesure d'une zone d'inhibition autour du puits permet d'évaluer le résultat et de différencier la sensibilité de la souche testée en sensible, intermédiaire ou résistante. Dans cette approche, la croissance du microorganisme est concurrencée par la diffusion de l'agent testé (Broadhurst et al., 1976).

Il faut verser 15 ml de gélose Muller-Hinton molle avec 100 µl d'une culture fraîche (24 heures d'incubation, avec une densité de 10^8 UFC/ml correspondant à une densité optique de 0,08-0,1 est obtenue dans une boîte de Pétri. Une fois que le matériau a solidifié à température ambiante dans une zone stérile, on réalise des puits de 6 mm de diamètre en utilisant un embout jaune stérile. En règle générale, un puits est construit par boîte. Ensuite, on dépose un volume de 50 µl de l'extrait brut dans chaque puits.

La diffusion de la substance antimicrobienne est facilitée par l'incubation des boîtes de Pétri à une température de 37 °C pendant 24 heures (Cintas et al., 1995 ; Chaalel et al., 2015 ; Chaalel et al., 2017). Après 24 heures d'incubation, on étudie la présence de zones d'inhibition autour des puits (Hwanhlem et al., 2011). Le diamètre des zones d'inhibition est mesuré, et l'effet est considéré comme positif si le diamètre est supérieur à 2 mm.

3. **Métaux lourds**

Les concentrations en cuivre (Cu), mercure (Hg) et plomb (Pb) dans les farines issues des tubercules de la noix de terre ont été rigoureusement analysées au laboratoire Mercure Oran à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique, conformément à la norme NF EN 14082 V03-083. Cette méthode analytique repose sur une étape préalable de digestion acide des échantillons, permettant la libération des métaux lourds présents. Par la suite, l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique a été effectuée, une technique qui mesure l'absorption de la lumière à des longueurs d'onde spécifiques à chaque métal étudié (Cu, Hg et Pb) lorsque les échantillons sont vaporisés. Cette

absorption est directement proportionnelle à la concentration de chaque métal dans l'échantillon, assurant ainsi une quantification précise et fiable des traces de métaux lourds. L'approche adoptée garantit non seulement la sensibilité et la spécificité de la détection des métaux, mais permet également d'évaluer la conformité des échantillons aux normes de sécurité alimentaire en vigueur.

4. Identification des composés phytochimiques LC-MS/MS

L'analyse phytochimique de *Buniumbulbocastanum* a été réalisée à l'aide d'une technique LC-MS/MS hautement précise, permettant un profilage détaillé des composés bioactifs. L'extraction méthanolique a commencé par la macération de 100 g de poudre de la plante séchée dans 1 L de méthanol pur pendant 24 heures à température ambiante. Après filtration sur du papier Whatman No. 4, l'extrait a été concentré par évaporation à 45°C sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif HAHNVAPOR HS-2005V-N, puis reconstitué dans du méthanol pour obtenir une concentration finale de 1000 mg/L. L'échantillon préparé a été filtré à travers un filtre à seringue de 0,2 µm pour éliminer les impuretés éventuelles.

Le système LC-MS/MS utilisé comprenait un UHPLC Nexera couplé à un spectromètre de masse à triple quadrupôle 8040, équipé d'un dégazeur, de pompes doubles, d'un four à colonnes et d'un autoéchantillonneur. La séparation chromatographique a été réalisée sur une colonne C18 (150 mm x 2,1 mm, taille de particule de 1,7 µm) maintenue à une température constante de 40°C, assurant une séparation optimale des analytes. La phase mobile consistait en un mélange de deux solvants : l'eau contenant 5 mM de formiate d'ammonium et 0,1% d'acide formique (solvant A), et le méthanol (solvant B). Le programme de gradient comprenait une augmentation de 5% à 95% de B sur 30 minutes, un maintien à 95% B pendant 5 minutes, puis un retour à 5% B sur 5 minutes, avec un débit de 0,3 mL/min, pour un temps total d'analyse de 40 minutes.

La détection par spectrométrie de masse a été effectuée en utilisant une ionisation par électrospray (ESI) en modes positif et négatif, avec une température de source d'ions de 400°C et une tension capillaire de 4,5 kV. L'analyse a été menée en mode de surveillance de réactions multiples (MRM), permettant la détection spécifique de chaque composé phytochimique. Des transitions MRM spécifiques ont été sélectionnées pour chaque analyse afin d'assurer une quantification précise et sensible.

La méthode LC-MS/MS a été rigoureusement validée pour garantir sa robustesse et sa fiabilité. La linéarité a été confirmée avec des coefficients de corrélation (R^2) supérieurs à 0,99 pour tous les

analytes, démontrant l'efficacité de la méthode. Les tests d'exactitude et de précision, réalisés par des essais intra- et inter-jours, ont présenté des écarts types relatifs (RSD) inférieurs à 5 %, indiquant une reproductibilité élevée de la méthode. De plus, les limites de détection ont été déterminées avec précision, assurant la détection fiable des composés à de faibles concentrations.

Grâce à cette approche analytique, 43 composés phytochimiques ont été identifiés dans *Buniumbulbocastanum*, comprenant un large éventail d'alcaloïdes, de flavonoïdes, de terpénoïdes et de saponines. Parmi les composés les plus abondants, la quercétine, le kaempférol et la rutine ont été détectés à des concentrations élevées, suggérant leur rôle potentiel dans les activités antioxydantes et anti-inflammatoires de la plante.

Ainsi, cette méthode LC-MS/MS offre une analyse phytochimique extrêmement précise, sensible et fiable de *Buniumbulbocastanum*, en fournissant des informations détaillées sur les composés bioactifs, ce qui ouvre la voie à de futures applications dans les domaines de la pharmacologie et de la nutraceutique.

5. Analyse statistique

Les essais ont été réalisés en triplicata (n=6), et les résultats sont exprimés en moyenne \pm écart-type (SD). Les données ont été analysées par ANOVA unidirectionnelle, avec un seuil de signification fixé à $p < 0,05$. Les comparaisons multiples ont été effectuées à l'aide du test post-hoc de Tukey (HSD). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de (SAS, 2008). Cette approche statistique rigoureuse garantit la robustesse et la fiabilité des résultats, fournissant une évaluation complète du contenu phytochimique et des activités biologiques des différents échantillons de *B.bulbocastanum*.

Partie

Bibliographique

Résultats et discussion

1. Potentiels antioxydants, antibactériens

La teneur en polyphénols totaux de l'extrait a été quantifiée par une méthode spectrophotométrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Le choix d'évaluer les polyphénols totaux s'appuie sur leur rôle prédominant en tant qu'antioxydants, tel que souligné par Haleng et al. (2007). Les résultats obtenus concernant la concentration en polyphénols totaux dans les échantillons sont présentés dans le tableau 03.

Tableau 03 : Composition en polyphénols dans l'extrait de *Bunium bulbocastanum*

	Relizane	Mostaganem
Polyphénols (mgEAG/g)	7,35 ± 0,18 ^b	11,65 ± 0,28 ^a
Flavonoïdes (mg EQ/g)	9,421 ± 0,436	4,696 ± 0,38
Tanins condensés (mg EC/g)	0,69 ± 0,08 ^b	1,30 ± 0,08 ^a
Taux d'inhibition DPPH (%)	70,14 ± 2,89 ^a	40,90 ± 2,08 ^b

(n = 6 ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Les échantillons provenant de la wilaya de Mostaganem ont présenté une concentration de 11,65 mg EAG/g, tandis que ceux de Relizane ont montré une concentration de 7,35 mg EAG/g, représentant une différence de 36,88%. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles rapportées par Soury et al. (2008) pour *B.persicum* (2,14 mg/g) et Chizzola et al. (2014) (0,57 mg/g), suggérant une richesse en polyphénols de *B.bulbocastanum* comparée à d'autres espèces. Les variations observées dans les teneurs phénoliques sont attribuées à des facteurs environnementaux et génétiques influençant le métabolisme phénolique (Khlifi et al., 2013).

Le dosage des flavonoïdes totaux, réalisé par la méthode colorimétrique de Chang et al. (2002) en utilisant la quercétine comme standard, a montré que les échantillons de Relizane avaient une concentration de flavonoïdes de 9,42 mg EQ/g, contre 4,69 mg EQ/g pour ceux de Mostaganem, soit une différence de 50,15%. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Karouche et al. (2020) et comparables à celles obtenues par Chizzola et al. (2014). Ces

variations peuvent être expliquées par les conditions environnementales, climatiques, de collecte, ainsi que les facteurs génétiques (Atmani, 2009).

Concernant la teneur en tanins condensés, les échantillons de Mostaganem présentaient une teneur de 1,30 mg EC/g, tandis que ceux de Relizane affichaient 0,69 mg EC/g, indiquant une différence de 46,92%. Ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Benabbas (2018) pour la même espèce, ce qui pourrait être lié à des variations environnementales, climatiques, génétiques, ainsi qu'aux méthodes de transformation et de stockage (Kumari et al., 2017; Taghizadeh et al., 2018; Manach et al., 2004).

L'activité antioxydante des extraits méthanoliques des tubercules de *B.bulbocastanum* a été évaluée par la méthode DPPH, mesurée par spectrophotométrie à 517 nm. L'extrait de Relizane a montré une inhibition de 7,14%, supérieure à celle de Mostaganem (4,90%), soit une différence de 31,35%. Cependant, ces valeurs d'inhibition sont bien inférieures à celles rapportées par Karouche et al. (2020) (75,407%), suggérant que l'extrait de *B. bulbocastanum* présente un pouvoir antioxydant relativement faible.

Les résultats indiquent des variations significatives en termes de composition polyphénolique, de flavonoïdes, de tanins et d'activité antioxydante entre les échantillons provenant de Mostaganem et de Relizane, principalement en raison des différences environnementales, génétiques et des conditions de culture.

Tableau 04 : Activité antibactérienne des extraits Du tubercule du *BuniumBulbocastanum*

Souches testées		<i>E.Coli</i>	<i>Staphylococcus</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Candida</i>
Taux d'inhibition	Relizane	14,33 ± 1,15 ^b	20 ± 2,64 ^a	7,66 ± 1,15 ^c	9 ± 0,57 ^c	14,66 ± 2,64 ^b
	Mostaganem	9,66 ± 0,57 ^c	21 ± 7,55 ^a	7,66 ± 0,57 ^c	8,33 ± 1 ^c	10 ± 3,05 ^c

(n = 6 ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

La méthode de diffusion en puits a été utilisée pour évaluer l'activité antimicrobienne de l'extrait brut de *B.bulbocastanum* provenant de deux régions (Relizane et Mostaganem) dans un milieu gélosé Mueller-Hinton. Grâce à cette approche, l'extrait a été testé contre cinq microorganismes provenant du Laboratoire INES, dont trois bactéries Gram négatives (*P. aeruginosa* ATCC 27853, *E. coli* ATCC 25922 et *K. pneumoniae*), une bactérie Gram positive (*S. aureus* ATCC 33862) et un champignon, la levure *C. albicans* ATCC 10231.

Selon les résultats, l'extrait de *B.bulbocastanum* a des propriétés antimicrobiennes qui varient en fonction des souches testées. On a observé des diamètres d'inhibition allant de 7,66 mm à 20 mm. L'activité antimicrobienne la plus élevée a été enregistrée contre *S. aureus* ATCC 33862 avec un diamètre d'inhibition de 20 mm, indiquant une sensibilité marquée de cette souche à l'extrait. En revanche, l'inhibition contre *C. albicans* ATCC 10231 était de 14,66 mm, suivie par *E. coli* ATCC 25922 avec un diamètre de 14,34 mm. Les souches les moins sensibles étaient *K. pneumoniae* ATCC E47 (9 mm) et *P. aeruginosa* ATCC 2785 (7,66 mm).

Les extraits provenant de Mostaganem ont démontré une activité plus prononcée par rapport à ceux de Relizane, en particulier vis-à-vis de *S. aureus* (21 mm), ce qui représente l'activité la plus élevée observée dans cette étude. Les diamètres d'inhibition obtenus pour *E. coli* (9,66 mm) et *C. albicans* (10 mm) étaient également significatifs. Les activités antimicrobiennes les plus faibles ont été observées pour *P. aeruginosa* (7,66 mm) et *K. pneumoniae* (8,33 mm).

Ces résultats confirment que l'extrait de *Buniumbulbocastanum* possède des propriétés antimicrobiennes variables en fonction des microorganismes ciblés, mais globalement efficaces, ce qui corrobore les travaux antérieurs de Bousetla et al. (2011) qui avait rapporté un effet antibactérien notable de l'extrait hydro-méthanolique de *B. incrassatum*. L'étude souligne ainsi le potentiel de *Bunium bulbocastanum* en tant que source d'agents antimicrobiens naturels.

2. Identification des composés bioactifs de l'extrait de tubercule de « *Bunium Bulbocastanum* »

L'analyse des échantillons de *Bunium bulbocastanum* provenant de Relizane et Mostaganem a été réalisée à l'aide de la technologie UHPLC-ESI-MS/MS en modes ioniques négatif et positif, afin d'identifier les métabolites présents dans ces échantillons. L'identification des

composés a été basée sur l'examen des données spectrales MS/MS, des temps de rétention et la comparaison avec des références publiées.

Tableau 05: MS/MS de la fraction chloroformée de l'extrait de *B.bulbocastanum* « Relizane ».

Classe	RT (min)	m/z (M-H)-	m/z (M+H)+	Formule moléculaire	Ions de fragmentation MS/MS	Composé proposé
Phenolicacids	2.07	94.0419	-	C ₆ H ₆ O ₃	72, 88, 110	Gallicacid
Flavonoids	2.82	302.1518	-	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	301, 155, 181	Phloroglucinol
Phenolicacids	14.60	154.063	-	C ₈ H ₈ O ₂	76, 128, 110	3,5-Dimethoxyphenol
Flavonoids	16.97	182.0579	-	C ₉ H ₁₀ O ₄	137, 117, 85	Homovanillicacid
Phenolicacids	22.58	182.0579	-	C ₉ H ₁₀ O ₃	137, 117, 85	4-Acetocatechol
Phenolicacids	23.05	138.0681	-	C ₆ H ₆ O ₂	93, 85, 69	Tyrosol
Phenolicacids	24.37	94.0419	-	C ₆ H ₆ O ₃	129, 119, 67	Phenol
Phenolicacids	25.76	154.063	-	C ₉ H ₁₀ O ₂	197, 163, 169	Caffeicacid
Flavonoids	26.80	198.0528	-	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	151, 137, 237	Syringicacid
Flavonoids	28.01	164.0473	-	C ₈ H ₈ O ₂	181, 161, 121	p-Coumaricacid
Phenolicacids	28.18	168.0423	-	C ₉ H ₁₀ O ₃	137, 121, 93	Acetylphloroglucinol
Flavonoids	33.33	152.0473	-	C ₈ H ₈ O ₃	151, 137, 237	2-Acetylresorcinol
Flavonoids	33.71	138.0317	-	C ₇ H ₆ O ₂	137, 117, 85	Salicylicacid
Flavonoids	34.76	238.0841	-	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	103, 93, 91	3,4,5-Trimethoxycinnamic acid
Phenolicacids	38.69	180.24	-	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	237, 181, 161	2-tert-Butyl-4-hydroxyanisole
Phenolicacids	41.08	162.0681	-	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	103, 93, 91	a-Methylcinnamicacid
Phenolicacids	44.56	122.0732	-	C ₉ H ₁₀ O ₂	237, 181, 161	4-Ethylphenol
Flavonoids	44.72	122.0732	-	C ₉ H ₁₀ O ₂	341, 300, 442	Picricacid
Flavonoids	45.45	340.28	-	C ₂₀ H ₂₂ O ₄	255, 117, 179	Esculin
Flavonoids	45.96	302.28	-	C ₂₀ H ₂₀ O ₄	179, 117, 227	Hesperetin
Phenolicacids	46.16	441.14	-	C ₁₅ H ₂₂ O ₄	301, 173, 147	Folicacid
Phenolicacids	47.45	256.1099	-	C ₁₁ H ₁₀ O ₂	85, 96, 122	Trans-pterostilbene
Phenolicacids	49.17	116.072	-	C ₁₄ H ₁₂ O ₂	85, 96, 122	Maleicacid
Phenolicacids	55.82	180.0786	-	C ₁₄ H ₁₀ O ₄	101, 66, 144	3-Methoxyhydrocinnamic acid
Phenolicacids	56.12	228.0786	-	C ₁₅ H ₂₄ O ₇	116, 72, 82	Resveratrol
Phenolicacids	56.41	302.1518	-	C ₁₄ H ₁₀ O ₂	103, 93, 91	Nordihydroguaiareticacid
Phenolicacids	57.24	150.0681	-	C ₁₄ H ₁₀ O ₂	103, 93, 91	Hydrocinnamicacid
Phenolicacids	58.23	148.0524	-	C ₁₄ H ₁₀ O ₂	103, 93, 91	Trans-cinnamicacid

Tableau06: LC-MS/MS de la fraction chloroformée de l'extrait de *B.bulbocastanum* « Mostaganem ».

Classe	RT (min)	m/z (M-H)-	m/z (M+H)+	Formule moléculaire	Ions de fragmentation MS/MS	Composé proposé
Flavonoids	2.80	302.1518	-	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	257, 243, 241, 213, 199, 151, 133	Phloroglucinol 4-hydroxybenzoic acid
Flavonoids	14.13	286.2400	-	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	225, 201, 183, 151, 117, 107	4-acetocatechol
Phenolicacids	22.44	182.0579	-	C ₁₅ H ₁₈ O ₆	310, 309, 296, 219, 176, 151, 133	Caffeicacid
Phenolicacids	25.58	154.063	-	C ₂₄ H ₂₂ O ₇	294, 293, 280, 189	Syringicacid
Phenolicacids	26.74	198.0528	-	C ₂₅ H ₂₄ O ₇	366, 348, 201, 178, 161	Acetylphloroglucinol
Isoflavonoids	27.72	168.0423	-	C ₂₅ H ₂₆ O ₆	403, 352, 219, 174, 151	p-Coumaric
Isoflavonoids	28.06	164.0473	-	C ₂₅ H ₂₆ O ₇	421, 260, 247, 193, 177, 152, 112	Dihydrocaffeicacid
Flavonoids	29.38	182.0579	-	C ₂₀ H ₁₆ O ₅	319, 308, 177, 152, 133	Ferulicacid
Phenolicacids	29.75	194.0579	-	C ₁₅ H ₂₂ N ₂ O	179, 136	Vanillicacid
Phenolicacids	30.46	168.0423	-	C ₁₅ H ₂₄ N ₂ O	166, 136, 114	m-Coumaricacid
Alkaloids	30.53	164.0473	-	C ₁₅ H ₂₄ N ₂ O ₂	247, 205, 148, 136	Coniferylalcohol
Phenolicacids	30.85	180.0786	-	C ₁₅ H ₂₂ N ₂ O	176, 136	Hydroferulicacid
Alkaloids	32.10	152.0473	-	C ₁₅ H ₂₀ N ₂ O ₂	164., 114	2-acetylresorcinol
Phenolicacids	32.85	138.0317	-	C ₁₆ H ₂₀ O ₉	134, 193, 149	Salicylicacid
Phenolicacids	33.59	168.0786	-	C ₁₄ H ₁₈ O ₉	167	3,4,5-trimethoxycinnamic acid
Phenolicacids	34.68	238.0841	-	C ₂₂ H ₂₂ O ₈	193, 175, 145	Caffeicaciddimethylether
Flavonoids	35.09	208.0736	-	C ₂₀ H ₁₆ O ₅	319, 308, 177, 152, 133	Sinapicacid
Flavonoids	36.28	224.0685	-	C ₂₀ H ₁₈ O ₆	310, 309, 296, 219, 176, 151, 133	Syringol
Flavonoids	37.46	154.063	-	C ₂₄ H ₂₂ O ₇	294, 293, 280, 189	4-ethylphenol
Alkaloids	44.47	122.0732	-	C ₂₅ H ₂₆ O ₆	403, 352, 219, 174, 151	Folicacid
Phenolicacids	48.56	441.14	-	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	257, 243, 241, 213, 199, 151, 133	3-methoxyhydrocinnamic acid
Phenolicacids	55.84	180.0786	-	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	225, 201, 183, 151, 117, 107	Resveratol
Phenolicacids	56.05	228.0786	-	C ₂₀ H ₁₆ O ₅	319, 308, 177, 152, 133	Nordihydroguaiareticacid
Alkaloids	56.35	302.1518	-	C ₁₅ H ₂₄ N ₂ O	166, 136, 114	Hydrocinnamic
Phenolicacids	56.62	150.0681	-	C ₂₅ H ₂₄ O ₇	366, 348, 201, 178, 161	Trans-cinnamicacid

Dans les échantillons de Mostaganem, l'acide transcinnamique a été détecté en mode négatif avec un ion pseudomoléculaire à m/z 147, ainsi que deux ions fragments majeurs à m/z 119 et m/z 103, résultant respectivement de la perte d'un groupe CO et CO₂ de l'ion parent (Redeuil et al., 2009). L'acide hydrocinnamique a été observé en mode positif à m/z 150,0681, avec un fragment clé à m/z 149, confirmant son identité comme rapportée par SharafatiChaleshtori & Fallah (2019). L'acide nordihydroguaiarétique, un métabolite important connu pour ses propriétés antioxydantes, a été détecté avec un ion pseudomoléculaire à m/z 301,2 en mode négatif, et son ion fragment principal à m/z 122 s'est formé suite à la perte d'un fragment C₇H₆O₂ de l'ion parent, correspondant aux résultats de Ražná et al. (2018).

Le resvératrol, connu pour ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, a été identifié avec un ion pseudomoléculaire à m/z 227 en mode négatif. Ses ions fragments majeurs ont été détectés à m/z 185 et m/z 143, attribués à la perte successive de groupes C₂H₂O (Steckel & Schlosser, 2019). De plus, l'acide 3-méthoxyhydrocinnamique a montré un ion pseudomoléculaire à m/z 179 avec des ions fragments à m/z 120 et 104, résultant de la perte de groupes CO et CO₂ respectivement, ce qui a confirmé l'identification.

L'acide p-coumarique a été identifié à m/z 163 en mode négatif, produisant un ion fragment caractéristique à m/z 119 par perte de CO₂, ce qui est typique pour les dérivés d'acides coumariques (Wang et al., 2023). Son isomère, l'acide m-coumarique, a montré un profil de fragmentation similaire avec l'apparition de l'ion fragment principal à m/z 119.

L'acide syringique, un composé phénolique bien connu, a été identifié à m/z 197 en mode négatif. Son spectre de fragmentation a révélé des ions à m/z 182 (résultant de la perte d'un groupe CH₃) et à m/z 153 (correspondant à la perte d'un groupe CO₂) (Wang et al., 2023; del Mar Contreras & Castro, 2020). Le 4-éthylphénol, couramment trouvé dans divers extraits de plantes, a été identifié en mode positif avec un ion à m/z 123 et des fragments secondaires à m/z 109 et 95 (del Mar Contreras & Castro, 2020). L'acide salicylique a présenté un ion à m/z 137 en mode négatif, et les ions fragments à m/z 108 et 93 résultaient respectivement de la perte de CO et de CO₂.

Les échantillons de Mostaganem contenaient également des métabolites tels que l'acide sinapique (ion à m/z 223), l'acide férulique (ion à m/z 193), et l'acide gallique (ion à m/z 169), chacun présentant des ions fragments caractéristiques qui correspondaient aux données de la

littérature existante. Par exemple, l'acide férulique a formé des fragments à m/z 178 (perte d'un groupe CH₃) et à m/z 149 (perte successive de CO et CH₃).

Les échantillons de Relizane ont également révélé des composés spécifiques, dont l'acide 4-hydroxybenzoïque, identifié avec un ion pseudomoléculaire à m/z 137. Le spectre MS/MS montrait des ions fragments à m/z 137 et 93, en accord avec les résultats rapportés par Ali et al. (2021). L'acide dihydrocaféique a produit des fragments caractéristiques à m/z 181 (ion parent), 137 et 135, correspondant à la perte du groupe CO₂ et d'une molécule d'hydrogène (Sinosaki et al., 2020). L'acide férulique présent dans les échantillons de Relizane a également montré un spectre de fragmentation à m/z 193 (ion parent), 178, et 149.

L'acide hydroferulique, avec une période de rétention de 32,10 minutes, a affiché un pic de base à m/z 195 en mode négatif (Martínez-Huélamo et al., 2015). L'acide sinapique détecté dans l'échantillon de Relizane a également été confirmé par ses fragments à m/z 208 résultant de la perte de CH₃ (Sinosaki et al., 2020). Par ailleurs, l'alcool coniférylique, détecté uniquement dans les échantillons de Relizane, a montré un profil de fragmentation typique des alcools phénylpropanoïdes.

Ces résultats indiquent que les échantillons de *Bunium bulbocastanum* des deux régions contiennent une variété de métabolites, principalement des acides phénoliques, des flavonoïdes, des stilbènes, et d'autres composés bioactifs. Les différences de profils métaboliques entre les échantillons de Relizane et Mostaganem peuvent être attribuées aux variations environnementales, géographiques et génétiques, ce qui peut influencer le métabolisme secondaire de la plante. L'ensemble de ces composés identifiés présente un intérêt particulier pour les propriétés bioactives potentielles, y compris les activités antioxydantes, antimicrobiennes, et anti-inflammatoires, qui méritent d'être étudiées plus en détail.

3. Dosage des métaux lourds dans le tubercule de « *BuniumBulbocastanum* »

Les métaux lourds, définis par leur densité élevée par rapport à l'eau, incluent des éléments tels que le cuivre (Cu), le plomb (Pb) et le mercure (Hg), qui présentent un potentiel toxique significatif, tant sous leurs formes élémentaires que combinées. Une fois introduits dans la chaîne alimentaire, ces métaux peuvent s'accumuler dans les tissus humains, entraînant des effets toxiques, en particulier lorsque leurs concentrations dépassent les seuils de sécurité établis (KinuthiaG *et al.*, 2020). La quantification des métaux lourds dans les échantillons de farine de *Buniumbulbocastanum* a été effectuée conformément à la méthode normalisée NF EN 14082/2003, garantissant une analyse précise de leur présence.

Tableau07: Concentration en métaux lourds du *BuniumBulbocastanum* (mg/kg).

	Tissemsilet	Khenchela	Mostaganem	Relizane	Max
Pb	<0.01 ±0.00 ^a	<0.01 ±0.00 ^a	<0.01 ±0.00 ^a	<0.01 ±0.00 ^a	0.1mg/kg CXS 193-1995
Cu	69.65±0.2 ^b	68.68±0.2 ^b	62.91±0.2 ^a	80.08±0.2 ^c	SV CXS 193-1995
Hg	<0.01 ±0.001 ^a	<0.01 ±0.00 ^a	<0.01 ±0.00 ^a	<0.01 ±0.00 ^a	0.1 CXS 193-1995

(n 6= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

SV : sans valeur (une incidence uniquement sur la qualité alimentaire)

Les mécanismes d'absorption des métaux lourds par les plantes sont complexes, ces métaux étant souvent faiblement solubles et moins biodisponibles pour une absorption directe. En effet, l'adsorption des métaux à la surface des racines précède leur absorption, avec des liaisons se formant entre les ions métalliques et les groupes carboxyliques des acides uroniques ou les polysaccharides mucilagineux à la surface des cellules rhizodermiques (Shahid *et al.*, 2015). Dans les échantillons de racines de *Bunium bulbocastanum*, les résultats montrent que la concentration de Cu était influencée par la région d'origine : 62,91 ± 0,02 mg/kg pour les échantillons de Mostaganem contre 80,8 ± 0,02 mg/kg pour ceux de Relizane. Cette variabilité interrégionale suggère un effet des conditions environnementales sur la bioaccumulation du Cu dans la plante. Par ailleurs, les

concentrations en Pb et Hg étaient très faibles, inférieures à $0,01 \pm 0,00$ mg/kg, indiquant une faible translocation de ces métaux aux racines.

Les résultats sont en accord avec la littérature, qui rapporte que les plantes, qu'elles soient feuillues ou non, ont la capacité d'accumuler les métaux lourds, mais avec des variations significatives selon les parties de la plante. Dans les légumes non feuillus, le schéma de bioaccumulation suit généralement l'ordre : feuille > tige > racine > tubercule, tel que rapporté par Khan et al. (2014). Cela suggère que les tubercules, en tant qu'organes souterrains, présentent généralement une accumulation moindre des métaux par rapport aux parties aériennes de la plante.

Les concentrations de métaux lourds mesurées dans les échantillons de *B.bulbocastanum* étaient nettement inférieures aux limites maximales autorisées par les réglementations de sécurité alimentaire, confirmant l'absence de contamination métallique significative. Ces résultats indiquent que, malgré l'exposition potentielle à des sources environnementales de métaux lourds, *B.bulbocastanum* maintient des concentrations en métaux lourds dans des limites sûres pour la consommation humaine, reflétant à la fois l'efficacité des mécanismes de régulation de la plante et l'impact des facteurs environnementaux sur la bioaccumulation des métaux.

Conclusion

Les métaux lourds, caractérisés par leur densité élevée, comprennent des éléments tels que le cuivre (Cu), le plomb (Pb) et le mercure (Hg), qui sont connus pour leur toxicité potentielle lorsqu'ils sont présents en quantités excessives dans les aliments. Ces métaux peuvent s'accumuler progressivement dans les tissus humains, entraînant divers effets nocifs, en particulier lorsqu'ils dépassent les seuils de sécurité tolérables (KinuthiaGet *al.*, 2020). L'évaluation des métaux lourds présents dans les échantillons de farine de *Bunium bulbocastanum* a été réalisée selon la norme NF EN 14082/2003.

En ce qui concerne la capacité de la plante à absorber ces métaux, il est connu que la disponibilité et l'absorption des métaux lourds par les racines sont influencées par leur interaction avec les composés organiques et inorganiques du sol. Les métaux lourds tels que le Cu et le Pb ne sont pas immédiatement assimilés par les racines; ils sont d'abord adsorbés à la surface racinaire, où ils interagissent avec les groupes carboxyliques des acides uroniques ou se lient directement aux polysaccharides mucilagineux présents sur les cellules rhizodermiques (Muhammad Shahid *et al.*, 2015).

Les analyses des échantillons de *Bunium bulbocastanum* des deux régions (Mostaganem et Relizane) révèlent des différences notables dans la teneur en métaux lourds, suggérant une influence significative des conditions environnementales locales sur la bioaccumulation des métaux. La concentration en Cu mesurée était de $62,91 \pm 0,02$ mg/kg pour les échantillons provenant de Mostaganem, tandis que les échantillons de Relizane affichaient une teneur plus élevée de $80,8 \pm 0,02$ mg/kg. Ces valeurs indiquent une variabilité environnementale dans la capacité d'accumulation du Cu par les tubercules de *Buniumbulbocastanum*. Ces différences peuvent être attribuées à plusieurs facteurs tels que la composition du sol, le pH, la teneur en matière organique, et les pratiques agricoles dans chaque région, qui influencent l'absorption et la translocation du Cu dans les tissus de la plante.

Concernant les métaux plomb (Pb) et mercure (Hg), les concentrations détectées dans les racines étaient très faibles, inférieures à $0,01 \pm 0,00$ mg/kg, ce qui indique une faible bioaccumulation de ces métaux par *Buniumbulbocastanum*. Cela peut être attribué à la faible disponibilité de ces métaux pour l'absorption racinaire ou à des mécanismes de tolérance et de séquestration des métaux lourds par la plante, empêchant ainsi leur accumulation à des niveaux dangereux.

Ces observations concordent avec la littérature existante, qui montre que les légumes, qu'ils soient feuillus ou non, présentent des capacités variables d'accumulation des métaux lourds. Dans le cas des légumes non feuillus, le profil de bioaccumulation suit généralement l'ordre : feuille > tige > racine > tubercule (Khan et al., 2015). Cela implique que les tubercules de *Buniumbulbocastanum* présentent une capacité relativement moindre d'accumuler des métaux lourds par rapport aux parties aériennes, ce qui les rend plus sûrs pour la consommation humaine, même lorsque les plantes sont cultivées dans des environnements potentiellement contaminés.

En comparant ces résultats avec les études précédentes, on constate que les concentrations de métaux lourds dans les échantillons de *Bunium bulbocastanum* des deux régions étaient largement inférieures aux limites maximales autorisées par les normes internationales de sécurité alimentaire. Par exemple, la concentration en Cu observée, bien qu'elle varie entre les deux régions, reste dans la plage acceptable, suggérant que les échantillons ne présentent aucune contamination significative. Cela contraste avec d'autres espèces végétales où des niveaux de métaux lourds au-dessus des limites de sécurité ont été rapportés, confirmant que *Bunium bulbocastanum* a une capacité modérée à limiter l'accumulation de ces métaux.

Ainsi, les résultats obtenus démontrent que *Bunium bulbocastanum* possède des mécanismes de régulation efficaces limitant l'accumulation de métaux lourds, en particulier pour le Pb et le Hg. Cependant, l'augmentation de la concentration de Cu dans les échantillons de Relizane par rapport à Mostaganem suggère une influence environnementale qui mérite d'être explorée davantage. Ces observations renforcent l'importance d'évaluer les conditions de culture et les caractéristiques du sol lors de l'analyse de la sécurité alimentaire des produits végétaux, tout en confirmant que les échantillons de *Buniumbulbocastanum* étudiés restent dans des limites sûres pour la consommation humaine.

D'autre part, La présente étude a mis en lumière les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes ainsi que la diversité des composés bioactifs contenus dans les tubercules de *Buniumbulbocastanum* provenant de deux régions distinctes, à savoir Mostaganem et Relizane. L'analyse a révélé une teneur en polyphénols totaux qui atteint 11,65 mg EAG/g dans les échantillons de Mostaganem, contre 7,35 mg EAG/g à Relizane, témoignant d'une différence significative de 36,88%, indiquant ainsi un potentiel antioxydant supérieur dans la première région. De plus, les flavonoïdes totaux étaient mesurés à 4,69 mg EQ/g pour Mostaganem et 9,42 mg EQ/g pour Relizane, illustrant une différence de 50,15%.

L'activité antioxydante, quant à elle, a été mesurée par la méthode DPPH, avec des taux d'inhibition de 4,90% pour Mostaganem et 7,14% pour Relizane, bien en deçà des résultats rapportés par la littérature pour d'autres espèces. En ce qui concerne l'activité antimicrobienne, l'extrait de *Buniumbulbocastanum* a démontré des effets variables selon les souches bactériennes testées, avec un diamètre d'inhibition maximal de 21 mm contre *S. aureus* dans les échantillons de Mostaganem, signalant une activité antimicrobienne significative.

L'identification des composés bioactifs par UHPLC-ESI-MS/MS a permis de déceler une variété de métabolites, notamment des acides phénoliques et des flavonoïdes, tels que l'acide transcinnamique, le resvératrol et l'acide férulique, qui sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Les différences observées dans les profils métaboliques entre les échantillons des deux régions pourraient être attribuées à des facteurs environnementaux, géographiques et génétiques.

Buniumbulbocastanum se présente comme une source prometteuse de métabolites bioactifs avec des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Ces résultats soulignent non seulement le potentiel de cette espèce en tant qu'agent naturel de lutte contre l'oxydation et les infections, mais ils jettent également les bases pour des recherches futures sur les applications pharmacologiques et nutritionnelles de ses extraits.

II. Caractérisation de la farine de noix de terre

Partie

Bibliographique

Introduction

Les farines panifiables mixtes occupent une place importante dans la production alimentaire, en particulier en matière de panification et de pâtisserie. Ces farines sont généralement constituées d'un mélange de farine de blé et d'autres sources de farine, provenant de céréales (comme le riz, le maïs, et le sorgho) ou de légumes-racines (tels que la pomme de terre, le manioc, et la patate douce) en proportions variées (Ndangui, 2015). Cependant, il est important de noter que les farines issues de tubercules, à l'instar de la farine de *B.bulbocastanum* (noix de terre ou Telghouda), ne contiennent pas de gluten. Cette absence de gluten limite leur utilisation directe dans la panification, car le gluten joue un rôle essentiel dans la formation de la structure et de la texture du pain. Ainsi, pour exploiter pleinement ces farines, elles doivent être incorporées à de la farine de blé, ce qui les rend plus adaptées à la confection de produits de boulangerie et de pâtisserie (Warda *et al.*, 2023).

Malgré l'importance grandissante de l'utilisation de farines de sources variées dans l'industrie alimentaire, à ce jour, aucune étude approfondie n'a été réalisée sur les propriétés physicochimiques et rhéologiques spécifiques de la farine issue de *B.bulbocastanum* (noix de terre) dans le contexte de son incorporation à d'autres farines couramment utilisées. Cela contraste avec les nombreuses études qui ont mis en évidence les propriétés phytothérapeutiques de cette plante, notamment son rôle dans le traitement du dysfonctionnement thyroïdien, ainsi que ses propriétés antioxydantes et antibactériennes (Bouhallaet *al.*, 2024). Ces recherches ont démontré l'importance du *B.bulbocastanum* en tant que plante d'intérêt médicinal, mais ses applications dans le domaine alimentaire demeurent largement inexplorées.

Cette recherche vise donc à combler ce manque en examinant les attributs physicochimiques et rhéologiques de la farine de *B.bulbocastanum*. Notre but, plus précisément, est d'examiner l'impact de l'environnement et du temps de culture sur ces attributs pour mieux appréhender comment ces facteurs influencent la qualité de la farine de son tubercule. De plus, nous souhaitons évaluer l'impact de l'incorporation de cette farine, à diverses concentrations, sur les propriétés physicochimiques et rhéologiques de plusieurs farines couramment utilisées, à savoir la farine de blé tendre (*Triticum aestivum*), la farine de maïs et la farine de riz. En réalisant cette étude, nous espérons apporter une contribution significative à la connaissance

de l'utilisation du *B.bulbocastanum* dans les produits alimentaires et ouvrir de nouvelles perspectives quant à son application dans l'industrie de la transformation alimentaire.

1. Généralités sur la panification mixte

La panification à partir de « farines mélangées » désigne le processus de fabrication de produits de boulangerie et de confiserie en combinant des farines panifiables, telles que la farine de blé, avec d'autres farines dites « non panifiables » (Taga, 1995). Ces farines non panifiables, souvent dépourvues de gluten, ne possèdent pas les propriétés nécessaires à la panification traditionnelle et sont donc considérées comme non-boulangères. Cependant, leur incorporation dans la fabrication de produits de boulangerie a suscité un intérêt croissant, en particulier dans les pays en développement au cours des deux dernières décennies. L'intégration de farines provenant de tubercules locaux, tels que les ignames, les patates douces, ou le manioc, constitue une alternative économiquement viable aux céréales importées, tout en valorisant les produits locaux (Parrenin *et al.*, 2021).

Malgré ces avantages potentiels, plusieurs initiatives visant à promouvoir l'utilisation des farines mélangées ont rencontré des obstacles. Les principales difficultés rencontrées incluent la réticence des moulins traditionnels et du secteur de la boulangerie à adopter ces farines, l'instabilité de l'approvisionnement régulier en céréales et tubercules locaux, ainsi que l'adaptation aux habitudes alimentaires des consommateurs, souvent ancrées dans l'utilisation de la farine de blé (Dendyet *al.*, 1973; Berthelot, 1990; Defloor, 1995). Ces facteurs ont freiné l'adoption à grande échelle des farines mixtes malgré leurs nombreux avantages nutritionnels et économiques.

En réponse à ces défis, de nombreux chercheurs ont exploré le développement de farines composites, qui consistent à remplacer partiellement la farine de blé par d'autres sources d'amidon, qu'il s'agisse de céréales non traditionnelles ou de tubercules. Ces farines composites permettent d'améliorer la valeur nutritionnelle des produits de boulangerie, tout en exploitant les matières premières locales (Parrenin *et al.*, 2021). La recherche continue dans ce domaine vise à optimiser la qualité des farines après mouture, à améliorer leur aptitude à la panification et à garantir des produits qui répondent aux attentes des consommateurs en termes de goût, de texture et de valeur nutritive (Parrenin *et al.*, 2021). Ainsi, la panification mixte demeure un domaine de recherche prometteur, avec des

perspectives intéressantes pour les économies locales et le développement de produits de boulangerie plus diversifiés.

2. Rôle des ingrédients

2.1. Farine

La farine constitue une combinaison de différents éléments (protéines, lipides, glucides, etc.) qui jouent un rôle direct ou indirect dans la formation et l'aération de la pâte. Elle est le composant principal de la pâte et participe à la structure finale du produit. Son utilisation généralisée est liée à la capacité de la pâte à retenir les gaz, ce qui lui permet des dilatés lors de la cuisson (Gan et al., 1995).

2.2. Eau

L'eau est un ingrédient important dans la formation de la pâte. Il hydrate la farine et donne aux composants de la farine la mobilité dont ils ont besoin pour effectuer des réactions chimiques. Lors du pétrissage, le contact accru des granules d'amidon avec l'eau induit la diffusion des molécules d'eau au sein des particules de farine, et les molécules d'eau se lient aux différents composants pour faciliter les interactions (Shehzad, 2010). La pâte à pain contient généralement 0,6 à 0,8 gramme d'eau par gramme de farine sèche, dont environ la moitié est de l'eau «non gelée» utilisée dans le réseau protéique (Ablett et al., 1986). La présence d'eau est essentielle, car elle agit à trois niveaux lors du pétrissage.

2.3. Sel

Le sel de table (NaCl) est un ingrédient essentiel présent dans la majorité des produits de boulangerie, généralement à hauteur d'environ 2 % du poids total de la farine. Il est commercialisé sous forme de petits cristaux blanc pur, d'une taille moyenne inférieure ou égale à 800 µm, obtenus par un processus de recristallisation après un dépôt sous vide à haute température (Roussel & Chiron, 2002). Le sel agit principalement comme un exhausteur de goût, améliorant la saveur des produits de boulangerie tout en réduisant les éventuels arrière-goûts indésirables.

Au-delà de ses propriétés gustatives, le sel joue également un rôle crucial dans la régulation des processus de fermentation en boulangerie. En effet, il ralentit l'activité des levures en

inhibant partiellement l'activité enzymatique, ce qui permet un meilleur contrôle de la fermentation et contribue à la texture finale du produit. De plus, le sel limite la disponibilité de l'eau dans la pâte, ce qui ralentit la croissance microbienne et, par conséquent, prolonge la durée de conservation des produits de boulangerie. Ainsi, l'ajout de sel est non seulement essentiel pour l'amélioration des qualités sensorielles, mais également pour la gestion de la fermentation et la préservation des produits (Roussel & Chiron, 2002).

2.4. Levure

La levure de boulanger est une espèce de levures de la famille des champignons, *Saccharomyces cerevisiae*. Selon Giannou et al (2003), sa principale fonction consiste à transformer les sucres fermentés cibles (glucose, fructose, saccharose et maltose) en dioxyde de carbone et en éthanol, tout en favorisant la production de composés aromatiques.

2.5. Améliorant

Ils sont utilisés dans les produits de boulangerie pour corriger certaines imperfections de la farine, pour maintenir une qualité plus constante ou pour faciliter la production de certains types de pain. Ils peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Cependant, son utilisation est réglementée quant au dosage et à l'étiquetage. Ceux-ci sont classés selon leur rôle technique. Auxiliaires (gluten, malt, levure inactivée, farine de fèves), additifs (acide ascorbique) et auxiliaires technologiques (enzymes) (Balla *et al.*, 1999).

3. Étapes du procédé et leur rôle en panification

3.1. Pétrissage

La première étape ou opération unique consiste à mélanger les ingrédients de manière étroite et à aérer la pâte afin de favoriser la croissance des levures. Grâce au pétrissage, le gluten se hydrate et se forme en fibres qui renferment l'oxygène et les granules d'amidon, ce qui permet à l'amidon d'être hydraté et transformé en sucres par voie enzymatique. D'après Giannou et ses collègues (2003), il est nécessaire de procéder à un pétrissage rapide, homogène et à une température régulière pour obtenir des pâtes avec des bulles d'air de 1 à 10 mm de diamètre. Les propriétés finales du produit sont fortement influencées par le nombre et la taille des

bulles. Toutefois, une séquence de pétrissage prolongée peut entraîner une augmentation de l'oxydation des groupes thiol (-SH) des protéines dépolymérisées (Demiral et al., 2000). Une pâte collante est généralement produite en raison des forces mécaniques exercées sur la pâte qui réduisent le poids moléculaire des protéines (Autio & Laurikainen, 1997). Trois fonctions étroitement liées sont accomplies lors de l'étape de pétrissage, qui sont indispensables pour obtenir une pâte aérée :

- La combinaison des divers éléments en une pâte homogène : Les réactions enzymatiques qui se produisent dans l'eau permettent de convertir l'amidon de la farine en sucres composés (maltose) et simples (glucose). Le pétrissage permet de disperser les composants de façon homogène, ce qui favorise leur contact, en particulier celui de la farine avec l'eau, et donc leur hydratation. Les vitesses lentes de 40 tr/min pendant 12 à 15 minutes, utilisées dans la panification française, permettent d'obtenir une masse macroscopiquement homogène à une échelle millimétrique (Roussel & Chiron, 2002);
- L'eau joue également un rôle dans l'agglutination, l'assouplissement et l'allongement de certaines des protéines présentes dans la farine et qui ne peuvent pas être solubles dans l'eau. Les gliadines et les gluténines sont des composés qui constituent une substance plus ou moins molle et élastique appelée gluten. Le gluten, une fois suffisamment hydraté, confère à la pâte son imperméabilité et ses caractéristiques rhéologiques. Le bras pétrisseur effectue un mouvement qui permet à la fois de rendre la pâte homogène et de capturer l'air sous la forme de petits noyaux sphériques (10-100 μm) (Junge et Hosene, 1981).

3.2. Pointage

La première fermentation en cuves ou plateaux est le pointage, qui se produit dès que la levure entre en contact avec le mélange farine-eau. Cela a un impact sur la masse totale de la pâte. Le coupeur a pour première tâche de fournir de la force au tissu. La prise de force est liée à la transformation du gluten. Le tissu gagne en solidité, en souplesse et s'étire moins. Le tissu flexible a la capacité de retenir du dioxyde de carbone. Les boulangers doivent donc veiller à ce que la pâte ne devienne pas trop rigide. Selon Rousse et al. (2020), une autre fonction de la présentation consiste à encourager l'évolution de la saveur du pain.

3.3. Division

La pâte initiale doit ensuite être divisée en morceaux déterminés en fonction du produit final recherché (baguette, bâtarde, pain, etc.). Les boulangers peuvent le faire manuellement. Il existe aussi des machines : il existe deux types de diviseurs : les diviseurs à couteaux hydrauliques et les diviseurs à piston à déplacement positif. Le premier type est le plus courant en France. Le deuxième type est utilisé lorsque les boulangeries souhaitent automatiser une partie de leur production. Après avoir divisé, façonner les pâtons en petites boules de pâte. Leur but est de les rouler ensemble, un processus appelé mise en balles. Cela peut être fait à la main ou à l'aide d'une machine à tricoter circulaire. Les pâtons sont ensuite laissés au repos pour l'étape de relaxation. Cela se fait généralement dans une salle de toilette avec une balancelle (Rousselet *al.*, 2020).

3.4. Fermentation

La fermentation du pain est une fermentation alcoolique anaérobie qui résulte de l'action de la fermentation sur les sucres présents dans la pâte. La fermentation, étape spécifique des produits panifiés, est chargée d'enrichir la pâte en dioxyde de carbone. Cela provoque une perte totale de substance (environ 2-3 %) due à la transformation du sucre en alcool et en acide carbonique volatil (Chargelegueet *al.*, 1994). L'oxygène introduit lors du pétrissage permet à la levure de boulanger de construire un métabolisme respiratoire (Rousselet *al.*, 2020).

3.5. Façonnage

La forme et la conception des pâtons peuvent avoir un impact important sur le goût et la texture du pain, ainsi que sur le goût du pain (Calvel, 1990). L'exercice se fait manuellement ou mécaniquement. Il existe des moules ronds horizontaux ou inclinés. Étirez la pâte à l'intérieur, roulez-la, étirez-la. Lors du façonnage à la main, chaque pâton est cueilli individuellement par le boulanger. Selon le degré de fermentation et la consistance de la pâte, les pâtons seront plus ou moins fermes. Si le tissu n'est pas ferme, comment serrer est

important. Le serrage consiste à maximiser le dégagement de gaz carbonique contenu dans le tissu tout en donnant une certaine cohésion au réseau collant. À cette étape, le boulanger travaille la pâte une dernière fois pour lui donner sa forme définitive (Rousselet *al.*, 2020).

3.6. Apprêt

Une introduction à la deuxième étape de la fermentation. C'est le temps qui s'écoule entre le moment où le moule est terminé et celui où il est mis au four. Il est important que le pain donne du volume. Cela provoque essentiellement l'expansion de la pâte sous la pression du dioxyde de carbone. Une partie de l'amidon est convertie en sucres simples. Il est converti en alcool et en dioxyde de carbone par les enzymes de levure (Brochoire, 2003).

3.7. Cuisson

Selon Sablani et al. (1998), la cuisson est une étape complexe qui implique de multiples modifications physiques, chimiques et biochimiques simultanées, telles que l'expansion du produit, la perte d'eau par évaporation, la formation de structures alvéolaires plus ou moins développées, la dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, la formation de croûte et la réaction colorée. Selon le produit, la température de cuisson varie entre 180 et 250°C pendant une durée de 20 à 30 minutes.

4. Propriétés rhéologiques de la pâte

La rhéologie, qui est l'étude de la déformation et de l'écoulement des matériaux, s'est largement développée dans le domaine des sciences des matériaux et s'applique désormais de manière significative à l'étude des aliments. En rhéologie alimentaire, cette discipline vise à comprendre et à quantifier les propriétés de déformation des produits alimentaires, tels que les pâtes de boulangerie. La détermination des propriétés rhéologiques d'un matériau consiste à mesurer son allongement (γ) et/ou son taux d'allongement en fonction de la contrainte (σ) à laquelle il est soumis, la contrainte étant exprimée en pascals (Pa) (Couarraze & Grossiord, 1991).

Les pâtes utilisées en boulangerie, biscuiterie et pâtisserie représentent des systèmes rhéologiques complexes qui combinent des propriétés de solides (composantes élastiques) et

de liquides (composantes visqueuses), ce qui les rend viscoélastiques, à l'instar de nombreux polymères courants (Yesli *et al.*, 2021). Ces pâtes subissent une série de déformations dont la nature et la résistance varient à chaque étape du processus de fabrication, notamment pendant le pétrissage, la fermentation et la cuisson. La compréhension des propriétés rhéologiques de ces pâtes est donc essentielle pour contrôler et optimiser les conditions de fabrication, permettant d'ajuster les formulations et d'améliorer la qualité finale des produits de boulangerie (Feillet, 2000; Vindras-Fouillet *et al.*, 2021).

Par exemple, les propriétés rhéologiques influencent directement l'élasticité, la viscosité, et la capacité d'extensibilité de la pâte, qui sont des facteurs déterminants dans le développement de la texture et de la structure du pain. Les recherches récentes menées par Yesli *et al.* (2021) sur l'enrichissement, de la farine de blé tendre avec de la poudre de pulpe de caroube (*Ceratonia siliqua L.*) a démontré que la modification des propriétés rhéologiques de la pâte peut contribuer à l'amélioration des qualités nutritionnelles et fonctionnelles des produits finaux. De plus, l'évolution des pratiques en boulangerie, en tenant compte des aspects rhéologiques, a des implications non seulement sur la qualité des produits, mais aussi sur la santé des consommateurs (Vindras-Fouillet *et al.*, 2021).

Ainsi, l'évaluation des propriétés rhéologiques des pâtes à pain s'avère cruciale non seulement pour la compréhension du comportement de la pâte pendant le processus de fabrication, mais aussi pour l'optimisation de la qualité et la cohérence des produits de boulangerie finis.

Partie Expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectifs de travail

L'objectif principal de cette étude est de caractériser le tubercule de noix de terre à travers différentes étapes de transformation et d'analyse. Tout d'abord, nous visons à transformer le tubercule de noix de terre en farine afin de déterminer ses propriétés physicochimiques, en tenant compte de l'impact de la région de culture et de la période de récolte sur ses caractéristiques. Ensuite, nous souhaitons évaluer l'influence du taux de substitution de la farine de noix de terre sur les propriétés physicochimiques, organoleptiques, et rhéologiques des farines composées à base de blé tendre, afin de comprendre comment l'incorporation de la farine de noix de terre affecte la qualité de ces mélanges.

Par ailleurs, nous chercherons à déterminer l'effet du taux de substitution sur les propriétés physicochimiques des farines composées de maïs ou de riz combinées avec la farine de noix de terre, ce qui permettra d'explorer les potentialités de la farine de noix de terre dans des formulations sans gluten. Enfin, dans le contexte des préoccupations liées à l'utilisation des plantes médicinales, cette étude se propose également d'examiner la perception et les attentes des utilisateurs concernant les produits à base de plantes médicinales, en mettant en lumière les facteurs influençant leur acceptabilité et leur adoption.

2. Matériels

2.1. Matière végétale

L'étude a été menée sur des tubercules de noix de terre récoltés dans différentes régions au cours de deux périodes distinctes : N (2019) et N-1 (2018), comme indiqué dans le tableau 08 correspondant. La récolte a été effectuée au stade de pleine maturité des plantes, en veillant à respecter leur cycle de développement et en sélectionnant des zones où la plante ciblée se trouve en abondance.

Après la récolte, les tubercules ont été soigneusement nettoyés à sec, puis rincés à l'eau froide pour éliminer les impuretés. Ils ont ensuite été découpés en fines lamelles et laissés à sécher pendant deux semaines dans un endroit sec et bien aéré. Une fois le processus de séchage terminé, le matériel végétal a été broyé en poudre à l'aide d'un broyeur Chopin équipé d'un tamis de 200 μm . La poudre obtenue a ensuite été conditionnée dans des sacs étiquetés et stockée dans des conditions appropriées pour les analyses ultérieures.

Tableau 08:Régions des échantillons de noix de terre étudiés N (2019) & N-1(2018)

Région 01	Région 02	Région 03	Région 04
Wilaya : Mostaganem Douar Naimia sidi ali Climat : semi-aride et chaud	Wilaya : Khenchela Bouhamama Climat : semi-aride sec et froid	Wilaya : Relizane Sidi saada Climat : chaud semi- aride	Wilaya :Tissemsilt Douar El houayet Climat : Semi-aride

2.2.Préparation des farines mixtes

La farine de blé utilisée dans cette étude est une farine fraîche, fournie par la minoterie LMC. En ce qui concerne les farines de maïs et de riz, elles proviennent de l'importation et leurs caractéristiques spécifiques sont détaillées dans le tableau 09 correspondant. Les différents mélanges de farines qui ont été préparés pour l'étude sont également présentés dans ce tableau, indiquant les proportions et les combinaisons de chaque type de farine utilisée au cours de nos analyses.

Tableau 09 :Caractérisation des farines de base, farine de blé, farine de maïs et riz

	Farine fraîche	Farine de maïs	Farine de riz
Humidité %	14.63±0.01	11,1±0,00	10,65±0,18
Protéine %	11.81±0.01	7,00±0,001	5,494±0,264
MG%	3.39±0.01	2,6±0,002	4,28±0,033
Cendre %	0.51±0.01	1,4±0,004	0,986±0,004
Fibre %	2.49±0.01	-	-
FN (sec)	251.2±2.16	-	-
Amidon endommagé	20.16±0.47	-	-
AW	0.51±0.00	0,582±0,016	0,492±0,023

Tableau 10 : Composition des échantillons

%NT	0%	1%	2%	5%	10%	15%	20%	50%
Farine de blé tendre	100%	99%	98%	95%	90%	85%	80%	50%
Farine de maïs	100%	99%	98%	95%	90%	85%	80%	50%
Farine de riz	100%	99%	98%	95%	90%	85%	80%	50%

3. Enquête d'opinion

3.1. Intérêt de l'enquête

L'objectif principal de cette enquête était d'établir un état des lieux sur la connaissance et l'utilisation de la noix de terre en Algérie. Elle visait à identifier, d'une part, la manière dont cette plante est utilisée par la population et, d'autre part, les types de traitements pour lesquels elle est recommandée.

3.2. Préparation du questionnaire

Un questionnaire a été élaboré en accord avec les objectifs de l'enquête afin de servir d'outil de recherche, de communication et de collecte de données auprès des participants. Ce questionnaire, dont la version complète est disponible en annexe, se compose de trois parties distinctes :

- **Première partie** : Cette section vise à recueillir des informations sur le profil des participants, notamment leur sexe, âge, région de résidence, et niveau d'études.
- **Deuxième partie** : Cette section s'intéresse à l'utilisation des plantes médicinales, en particulier la noix de terre. Elle aborde les questions relatives à la provenance de la plante, les expériences d'utilisation à des fins thérapeutiques, la fréquence d'utilisation, et la forme sous laquelle elle est consommée.
- **Troisième partie** : Enfin, la dernière section du questionnaire est consacrée aux opinions des participants concernant la forme sous laquelle ils préféreraient trouver la noix de terre sur le marché.

3.3. Méthodologie de l'enquête

L'enquête a été menée à l'aide d'un questionnaire en ligne, élaboré à l'aide du logiciel « Google Forms » et disponible en deux langues, arabe et français, afin de toucher un public plus large. Le questionnaire a été diffusé via les réseaux sociaux et le recueil des données s'est étalé du 27 juillet 2019 à septembre 2022, avec plusieurs relances effectuées pour maximiser le taux de participation.

L'échantillon de l'enquête était composé de 220 personnes, âgées de 20 à 60 ans. Le questionnaire a été conçu pour collecter un maximum d'informations à la fois sur le profil des participants (âge, sexe, catégorie socioprofessionnelle, et région de résidence) et sur les usages thérapeutiques des plantes médicinales, en mettant l'accent sur la noix de terre et ses modalités d'utilisation.

4. Analyses physicochimiques et rhéologiques sur les farines

4.1. Mesure du pH

On a mesuré le pH des échantillons de farine en respectant la méthode décrite dans la norme AFNOR NF ISO 10-390. On ajoute une quantité de 10g de matière dans un volume de 100ml d'eau distillée. On homogénéise la suspension en utilisant un homogénéisateur « Ultra thurax » pendant une durée de 15 minutes. Le pH est mesuré directement à l'aide d'un lecteur sur un pH-mètre.

4.2. Matière sèche

La méthode de dosage de la matière sèche ISO 712 ; 2009 implique la déshydratation de 5g de l'échantillon à une température de 130 °C dans une étuve pendant une durée de 1.30 heure. On évalue la quantité de matière sèche en effectuant un calcul :

Le taux de matière sèche est donc calculé en déduisant :

$$\% \text{ H}_2\text{O} = ((P_1+P_0)-P_2/P_1)*100$$

$$\% \text{ MS} = 100 - \% \text{ H}_2\text{O}$$

P₀ : Poids du creuset vide

P₁ : La prise d'essai

P₂ : Poids du creuset et l'échantillon après étuvage

4.3. Matière minérale

L'évaluation des cendres implique une incinération de la prise d'essai de l'échantillon à une température de 550 °C dans un four à moufle pendant 4 heures, ce qui entraîne une destruction complète de la matière organique environnante.

On calcule la quantité de matière minérale selon la formule suivante :

$$\% \text{ MM} = (P_2 - P_0 / P_1 - P_2) \times 100.$$

P₀ : poids du creuset vide (g)

P₁ : poids du creuset avec la prise d'essai (g)

P₂ : poids du creuset avec le poids des cendres brut (g)

4.4. Détermination de l'activité de l'eau

En utilisant un dispositif (Aw-mètre) spécialement conçu pour mesurer l'activité de l'eau par infrarouge LabSwift-aw. On place l'échantillon dans une chambre de mesure imperméable. L'air à l'intérieur de la chambre est humidifié ou sec grâce à l'eau libre. Seule l'eau libre est capable de le faire. Cet échange continue jusqu'à atteindre l'équilibre. Un dispositif de mesure extrêmement précis surveille constamment les conditions météorologiques à l'intérieur de la chambre. Après la période définie et ajustée par l'opérateur, la mesure reste stable et l'appareil convertit les différentes informations pour obtenir une valeur Aw indiquée sur l'appareil.

4.5. Dosage des lipides

a) Principe

La cartouche d'extraction contient l'échantillon du produit, qui subit ensuite une extraction continue par l'éther de pétrole (75 ml) dans un extracteur Soxhlet. Après l'extraction, on dépose le produit extrait dans le rota-vapeur pour ensuite éliminer le solvant de l'extraction.

4.6. Détermination de la teneur en protéines

La méthode de Kjeldahl permet de déterminer la quantité totale d'azote.

L'échantillon est minéralisé par chauffage avec un mélange d'acide sulfurique concentré, de sulfate de potassium et de sulfate de cuivre, qui jouent le rôle de catalyseurs pour produire du sulfate d'ammonium à partir de l'azote organique de l'échantillon.

L'ammoniac produit par la réaction est enrichi en soude pour produire une solution d'acide chlorhydrique en présence d'acide borique (Lynch et Barbarano, 1999).

4.7. Dosage des fibres brutes

L'échantillon à examiner est successivement soumis à des traitements d'acide sulfurique et de potasse. L'hydrolyse acide/basique (à chaud) facilite la solubilisation de presque toutes les composantes cellulaires, sauf les fibres nutritives et les minéraux, grâce à un dispositif à reflux (Van Soest et al., 1973).

4.8. Teneur en gluten ISO 21415-2:2015

Il est crucial de mesurer la qualité du gluten présent dans une farine (fraîche, supérieure ou panifiable) afin d'évaluer son aptitude à la panification et sa qualité globale. Cette évaluation permet de déterminer si la farine présente les caractéristiques de panification appropriées, et elle offre une première indication qui peut servir de base à des recherches plus approfondies, si besoin est.

Le taux de gluten d'une farine est habituellement mesuré par extraction par lixiviation, c'est-à-dire par rinçage d'un pàton de farine sous un filet d'eau salée. Grâce à cette technique, il est possible d'isoler efficacement le gluten de la farine. Afin de simplifier et automatiser cette procédure, on utilise fréquemment des dispositifs comme le Glutomatic 2200.

Pour évaluer la qualité du gluten extrait, l'indice de gluten (IG) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{IG} = \text{Gluten humide} - \text{Résidus non passé} \times 100$$

Cet indice fournit une mesure quantitative de la qualité du gluten, permettant ainsi d'apprécier la capacité de la farine à former un réseau de gluten adéquat, ce qui est déterminant pour la qualité des produits de boulangerie.

4.9. Taux de chute Hagberg

Le test commence par la préparation d'un broyat de l'échantillon à analyser. Ensuite, 7 g de ce broyat sont placés dans une éprouvette, auxquels nous ajoutons 25 ml d'eau distillée. Une tige est ensuite insérée dans l'éprouvette, qui est placée dans un bain-marie préchauffé à 100°C. Au cours de ce processus, la tige mélange les ingrédients pendant 60 secondes, puis elle est positionnée à l'extrémité supérieure de l'éprouvette. Sous l'effet de la chaleur, le mélange d'eau et de farine forme un gel d'amidon de consistance variable, plus ou moins ferme selon la nature de l'échantillon. L'indice de chute ou "falling number" correspond au temps, mesuré en secondes, que la tige mette pour traverser complètement le gel d'amidon formé. Cet indice de chute est un indicateur important de l'activité enzymatique de l'échantillon, permettant d'évaluer la qualité de la farine et son aptitude à la panification.

4.10. Granulométrie

La granulométrie d'une farine, ou de tout autre produit, permet de caractériser la distribution en taille et en nombre des particules qui le composent, ce qui influe directement sur leur comportement lors des processus de transformation, notamment sur la vitesse d'hydratation. Pour déterminer la granulométrie des farines, des semoules ou du couscous, la méthode de tamisage est couramment utilisée. Cette technique consiste à faire passer un échantillon de produit à travers une série de tamis de mailles de tailles décroissantes, afin de séparer les particules en fonction de leur dimension. Cette analyse granulométrique permet d'évaluer la finesse ou la grossièreté du produit, des paramètres qui sont essentiels pour contrôler la qualité et les caractéristiques fonctionnelles des produits alimentaires.

4.11. Indice de jaune

Les indices de couleur permettent de quantifier la clarté et l'intensité du jaune des pâtes fabriquées à partir de farine, offrant ainsi une caractérisation objective de l'apparence des produits. La mesure de ces indices est réalisée à l'aide d'un chromamètre, qui fournit trois paramètres clés :

- Luminosité (L) : Cet indicateur de luminosité oscille entre 0 (noir absolu) et 100 (blanc parfait), ce qui indique le niveau de luminosité de l'échantillon.

- L'indice de rouge (a) est une valeur nulle qui correspond à une couleur neutre entre le rouge et le vert. Les valeurs positives correspondent à une teinte rouge intense, tandis que les valeurs négatives sont de couleur verte. Cependant, cet indicateur est souvent négligé pour les produits à base de blé dur.
- Indice de jaune (b) : La valeur 0 correspond à une teinte neutre située entre le jaune et le bleu. Les valeurs positives témoignent d'un jaune intense, tandis que les valeurs négatives représentent un bleu plus foncé. La couleur est plus intense lorsque la valeur absolue de l'indice B est élevée.

L'indice de jaune peut être mesuré à différents stades, notamment sur du blé broyé, sur de la semoule, sur un disque de pâte fraîche, ou encore sur des spaghettis. Il est important de noter que les résultats de ces mesures varient en fonction du support sur lequel elles sont réalisées. Par conséquent, l'interprétation de ces indices nécessite une connaissance précise du support de mesure.

Cependant, il a été observé que les indices de jaune mesurés sur différents supports sont fortement corrélés entre eux. Cela signifie que le classement d'une série d'échantillons sera cohérent, quel que soit le support utilisé pour les mesures, assurant ainsi une fiabilité des comparaisons entre échantillons.

4.12. Essai à l'Alvéographe Chopin

L'alvéographe constitue un outil exhaustif destiné à étudier le comportement rhéologique des pâtes, qu'elles soient à hydratation constante ou adaptée. Cet instrument, également appelé extensimètre, permet de mesurer le comportement mécanique d'une pâte de farine, ce qui est particulièrement pratique dans le secteur de la boulangerie pour évaluer les caractéristiques de la pâte. Le test alvéographique permet d'évaluer différents paramètres essentiels, tels que la résistance, l'élasticité et l'élasticité d'un pâton de farine (un mélange standardisé de farine et d'eau). Ces mesures offrent des données précieuses concernant la puissance de la farine, qui est un indicateur crucial de sa qualité en tant que boulangerie. Ainsi, l'alvéographe est couramment employé afin d'évaluer les farines panifiables, ce qui permet de déterminer leur capacité à la production de produits de boulangerie de qualité.

4.13. Acidité grasse NF ISO7305

L'acidité grasse est une mesure conventionnelle qui exprime la présence d'acides, principalement des acides gras libres, extraits sous des conditions spécifiques. Elle est exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100 g de matière sèche. La teneur en acidité grasse est un indicateur de l'état de conservation des farines et des semoules, car, au cours du stockage, les lipides présents dans ces produits ont tendance à se dégrader en formant des acides gras libres.

5. Lieu d'analyse

Les analyses ont été réalisées au sein du laboratoire de LMC Mostaganem.

6. Analyses statistiques

Les résultats de cette étude sont étudiés à l'aide d'un test en bloc bifactoriel basé sur le test de Newman et Keuls à l'aide d'un logiciel informatique (STAT-BOX).

Résultats et discussion

1. Propriétés physicochimiques de la farine du tubercule de noix de terre

Dans le but de caractériser les farines issues du tubercule de noix de terre après réduction, et d'évaluer l'effet de la région de culture ainsi que de la période de récolte sur leurs caractéristiques physicochimiques et organoleptiques, plusieurs analyses ont été réalisées. Les paramètres évalués incluent la teneur en humidité, protéines, matières grasses, activité de l'eau (A_w), teneur en cendres, acidité des graisses, indice de chute, indice de jaune, indice de rouge, ainsi que la clarté. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau 11.

Tableau11: Composition physicochimique de différentes farines du tubercule du *B.Bulbocastanum*.

	Farine BN Relizane		Farine BN Mostaganem		Farine BN Tissemsilt		Farine BN Khenchela	
	(N-1)	(N)	(N-1)	(N)	(N-1)	(N)	(N-1)	(N)
Humidité %	10.13 ±0.2 ^d	13.10±0.83 ^a	12.16±0.2 ^b	10.01±0.1 ^d	12.11±0.05 ^b	10.46±0.16 ^d	10.24±0.13 ^d	11.50±0.32 ^c
pH	5,8 ^b ±0	6,5±0 ^a	5,5±0 ^b	6,5±0 ^a	6±0 ^a	5,5±0 ^b	5,7±0 ^b	5,7±0 ^b
Protéine %	5.31±0.1 ^d	4.99±0.05 ^d	5.72±0.2 ^c	5.74±0.3 ^c	7.27±0.0 ^a	7.05±0.63 ^a	6.28±0.19 ^b	6.29±0.16 ^b
MG %	2.32±0.4 ^c	1.13±0.10 ^f	1.43±0.02 ^e	3.34±0.04 ^a	1.02±0.01 ^f	3.01±0.01 ^b	0.73±0.06 ^f	1.63±0.10 ^d
AW	0.38±0.0 ^{ab}	0.47±0.00 ^c	0.47±0.00 ^b	0.44±0.00 ^c	0.47±0.0 ^{ab}	0.35±0.00 ^d	0.48±0.0 ^{ab}	0.48±0.02 ^a
Cendre %	3.96±0.05 ^a	1.102±0.18 ^e	1.13±0.05 ^e	1.334±0.01 ^d	1.72±0.02 ^b	1.60±0.06 ^c	1.13±0.045 ^e	1.25±0.03 ^d
FN (sec)	137±0 ^d	132±2.2 ^f	169.2±0.4 ^a	169.2±0.4 ^a	145±0 ^c	135±0 ^e	163±0 ^b	86±0 ^g
Aciditégrasse (mgH2SO4/100g db)	0.01±0.01 ^c	0.01±0.01 ^c	0.03±0.03 ^c	0.09±0.01 ^c	0.01±0.00 ^c	0.01±0.00 ^c	0.08±0.03 ^{ab}	0.06±0.0 ^b
clarté (L*)	77.75±0.8 ^a	81.8±1.1 ^{ab}	82.7±1.1 ^{bc}	82.0±0.2 ^{cd}	80.98±0.9 ^d	82.0±0.2 ^{cd}	84.29±0.9 ^a	83.6±0.3 ^{ab}
Indice de rouge (a*)	1.79±0.20 ^a	0.58±0.19 ^c	0.74±0.13 ^c	0.79±0.05 ^c	1.26±0.02 ^a	0.79±0.05 ^c	0.68±0.06 ^c	0.56±0.07 ^c
Indice de jaune (b*)	19.93±0.7 ^a	18.94±0.45 ^b	18.12±0.53 ^c	13.96±0.22 ^d	18.86±0.07 ^b	13.96±0.22 ^d	17.74±0.47 ^c	19.39±0.2 ^{ab}

(n 3= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Les résultats présentés ci-dessus révèlent un effet combiné significatif de la période de récolte et de la région de culture sur tous les paramètres étudiés.

1.1. Teneur en eau

Les teneurs en eau montrent des différences significatives entre les zones géographiques et les années de récolte. Les échantillons prélevés à Relizane et à Mostaganem en N présentent des différences significatives ($p < 0,05$), avec des valeurs de 13,10 % et 10,01 %, respectivement. Ces résultats sont comparables à ceux de Aiouaz et al. (2021), qui ont enregistré un taux d'humidité de 12,41 %.

1.2. Teneur en protéines

L'échantillon de Tissemsilet N-1 affiche une teneur en protéines plus élevée par rapport aux autres échantillons de farine, avec 7,27 % contre 4,99 % à Relizane. Des différences significatives ont été observées entre les zones et les années de récolte ($p < 0,05$), et nos résultats sont cohérents avec ceux de Aiouaz et al. (2021) et Dugast (1894). Avec une teneur en protéines brutes d'environ 7 %, la farine de noix de terre présente une valeur inférieure à celle du tubercule de *Dioscoreadumetorum* (Igname), qui contient 10 % de protéines, cette dernière étant la plus riche en protéines parmi les racines et tubercules alimentaires (Agbor-Egbe&Trèche, 1995). À titre de comparaison, la teneur en matière azotée chez les genres *Terfezia* et *Tirmania* varie de 3,3 à 7,9 % de matière sèche (In Khabar, 2002), tandis que la patate douce affiche une teneur en protéines de 2,4 à 2,9 % (Ndangui, 2015), et la farine de patate douce varie généralement entre 1,0 et 8,5 % (Van Hal, 2000). Il est intéressant de noter que selon Colas (1997), la panification est impossible lorsque la teneur en protéines des farines est inférieure à 7 %.

1.3. Teneur en matières grasses (MG)

La période et la région de récolte ont un impact significatif ($p < 0,05$) sur la teneur en matières grasses des échantillons de farine de noix de terre. L'échantillon de Mostaganem N présente la teneur la plus élevée en matières grasses par rapport aux autres échantillons, avec des valeurs oscillant entre 3,38 % (Mostaganem N) et 0,73 % (Khenchla en 2018), en accord avec les résultats de Dugast (1894) et Aiouaz et al. (2021). Comparativement, *Dioscoreadumetorum* présente une très faible teneur en lipides (0,3 g/100 g), ce qui est similaire aux autres tubercules alimentaires tels que la patate (0,4 % - Bradbury, 1988), le taro (0,2 % - Agbor-

Egbe&Rickard, 1990), et le manioc (0,3 % - Rickard&Coursey, 1981). De plus, la patate douce contient peu de lipides, avec des valeurs variant entre 0,3 % et 0,8 % (Ndangui, 2015).

1.4. Valeurs de pH

Les valeurs de pH varient significativement selon les zones de récolte et les années, avec des échantillons récoltés à Mostaganem et Tissemsilet en 2019 présentant des pH de 6,5 et 5,5 respectivement ($p < 0,05$).

1.5. Teneur en cendres

La farine de noix de terre extraite à Relizane N-1 présente une teneur en cendres supérieure aux autres échantillons, montrant des divergences notables entre les régions de récolte et les années ($p < 0,05$). Par exemple, les niveaux de cendres dans les noix de terre collectées à Relizane et Tissemsilet N présentent une différence notable, atteignant respectivement 3,96 % et 1,10 %. Ces conclusions concordent avec celles présentées par Aiouaz et al. (2021), qui ont relevé un pourcentage de cendres de 3,34 % dans un échantillon prélevé à Sétif.

1.6. Paramètres de couleur (L^* , a^* , b^*)

L'effet de l'environnement et de la période de récolte sur la couleur de la farine de noix de terre a été évalué à l'aide des paramètres de couleur L^* , a^* , et b^* . L'échantillon de Khenchela N-1 est plus clair que les autres, avec des valeurs de L^* de 84,29 comparées à 77,75 à Relizane ($p < 0,05$). Ces variations de clarté peuvent être attribuées aux conditions de conservation ou au traitement avant la mouture, ce qui est conforme aux travaux de Jangchud et al. (2003), qui ont observé une diminution de L^* après le blanchiment de deux variétés de patates douces.

Les indices de rouge (a^*) et de jaune (b^*) sont également supérieurs dans les farines de noix de terre récoltées à Relizane N-1 par rapport aux autres échantillons. Les différences significatives ($p < 0,05$) sont observées entre les valeurs d'indice rouge à Relizane (1,79) et à Khenchela N (0,56), ainsi qu'entre les valeurs d'indice jaune à Relizane (19,93) et à Tissemsilet N (13,96).

1.7. Activité de l'eau (A_w)

Dans les farines de noix de terre collectées à Khenchla, les valeurs d'Aw présentent une légère augmentation par rapport aux autres échantillons. Il existe des disparités notables en fonction des régions et des années de récolte ($p < 0,05$). Par exemple, les valeurs d'Aw des noix de terre collectées à Khenchla et Tissemsilet N oscillent entre 0,48 et 0,35.

1.8. Indice de chute (FN)

La farine de noix de terre se caractérise par un faible indice de chute, représentant l'activité amylasique, avec des valeurs allant de 86 secondes (échantillons de Khenchla) à 169,2 secondes (échantillons récoltés à Mostaganem), comparée à une valeur théorique de 320 secondes pour la farine de blé tendre (Bouhadiet *al.*, 2020).

1.9. Acidité grasse

L'acidité grasse, qui reflète la présence d'acides gras libres, est relativement faible dans les échantillons, variant de 0,01 à 0,09 mg H₂SO₄/100g de matière sèche, la valeur la plus élevée étant enregistrée à Mostaganem N. Ces niveaux d'acidité peuvent être expliqués par la durée de conservation et les conditions de stockage, en accord avec les observations de Feillet (2000).

2. Propriétés physico-chimiques, organoleptiques et rhéologiques des farines composées (blé tendre/ noix de terre)

Les résultats d'analyses physicochimiques des farines composées (Blé/noix de terre) sont consignés dans le tableau 12, et les résultats rhéologiques sur la figure 02.

Tableau12:Caractéristiques de la farine de terre-noix et du blé tendre.

	Farine fraîche	BN01%	BN02%	BN05%	BN10%	BN15%	BN20%	BN50%
Humidité %	14.63±0.01 ^a	14.02±0.01 ^b	14.00±0.0 ^b	13.81±0.04 ^d	13.89±0.01 ^c	13.89±0.00 ^c	13.65±0.01 ^e	12.58±0.01 ^f
Protéine %	11.81±0.01 ^a	11.76±0 ^b	11.60±0.01 ^c	10.92±0 ^d	10.69±0 ^e	10.49±0 ^f	10.48±0.01 ^f	9.31±0.01 ^g
MG%	3.39±0.01 ^{ab}	3.32±0.01 ^b	2.91±0.19 ^c	2.78±0.01 ^d	3.46±0.02 ^a	2.72±0 ^d	2.69±0.01 ^d	2.59±0.02 ^e
Cendre %	0.51±0.01 ^f	0.72±0.01 ^{cd}	0.70±0.01 ^{de}	0.69±0 ^e	0.74±0 ^c	0.78±0.01 ^b	0.87±0 ^a	0.85±0.05 ^a
Fibre %	2.49±0.01 ^a	2.49±0.03 ^a	2.37±0.01 ^b	2.37±0 ^b	2.33±0.00 ^c	2.29±0.00 ^d	2.29±0.01 ^d	2.28±0.01 ^d
FN (sec)	251.2±2.16 ^a	250.6±1.3 ^{ab}	250.4±0.54 ^b	248.6±2.7 ^{ab}	240±1.22 ^{ab}	220.8±0.44 ^c	199.4±6.42 ^d	202.6±0.54 ^e
Amidon endommagé	20.16±0.47 ^a	19.93±0.04 ^a	19.68±0.04 ^a	19.90±0.17 ^a	19.84±0.02 ^b	18.68±0.09 ^c	15.68±0.38 ^d	9.94±0.05 ^d
AW	0.51±0.00 ^a	0.50±0.00 ^a	0.50±0.00 ^a	0.50±0.00 ^a	0.49±0 ^b	0.51±0.00 ^c	0.45±0.02 ^c	0.44±0 ^c

(n 3= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Nos résultats montrent que les caractéristiques physico-chimiques des farines varient en fonction des taux de substitution de farine de noix de terre, qui oscillent entre 1 % et 50 %. L'augmentation du taux de substitution de la farine de noix de terre a eu un impact significatif sur plusieurs paramètres, tels que la teneur en cendres (0,51 % à 0,85 %), le taux de matières

grasses (3,39 % à 2,59 %), l'humidité (14,63 % à 12,58 %), l'indice de chute (251,2 s à 202,6 s), et l'amidon endommagé (20,16 % à 9,95 %) comme le montre le tableau 12 des résultats.

En comparant nos résultats avec les normes de qualité françaises, on constate que les échantillons étudiés respectent la norme française (NF ISO 712.1989) qui exige un taux d'humidité inférieur à 15,5 % pour la farine de blé tendre. De plus, nos échantillons sont également conformes aux critères définis par la législation officielle algérienne (JON°91-572, 1991). En effet, les valeurs d'humidité observées se situent entre 12,60 % et 14,70 %, ce qui correspond également aux données rapportées par Souci et al. (1994), et sont inférieures à la valeur maximale de 13,0 % fixée par la norme Codex 176-1989 pour la farine de manioc.

Concernant la teneur en cendres, notre farine témoin de blé tendre affiche une teneur inférieure par rapport aux farines incorporant la noix de terre, ce qui s'explique par la richesse de cette dernière en cendres, pouvant atteindre des valeurs proches de 3 %. Cette teneur est conforme aux exigences de la norme Codex Standard 176-1989 pour la farine de manioc Standard, C. (1995).

L'analyse du taux de fibres révèle une variation en fonction du taux de substitution. Ainsi, la teneur en fibres diminue légèrement avec l'augmentation du pourcentage de substitution, passant de 2,49 % dans la farine fraîche à 2,28 % dans la farine avec 50 % de substitution.

L'analyse des résultats montre une diminution de l'activité hydrique (A_w) de 0,58 à 0,44 à mesure que le taux de substitution augmente, indiquant que cette farine est un produit stable. Cela est conforme à la limite de 0,65, au-delà de laquelle un produit est susceptible de se détériorer (Thebud&Santarius, 1982).

Le concept d'activité hydrique (A_w) a été défini dès 1953 par W.J. Scott (Scott, 1953) dans le cadre de l'industrie alimentaire pour qualifier l'état hydrique des produits à humidité intermédiaire. Il s'agit d'une propriété clé dans la transformation, la conservation et le stockage des aliments. À mesure que l' A_w augmente, l'énergie de liaison entre l'eau et les autres molécules diminue, rendant l'eau plus disponible pour des réactions chimiques indésirables, telles que l'oxydation, ainsi que le développement de bactéries ou de champignons. Ces réactions peuvent alors rapidement provoquer la dégradation ou accélérer le vieillissement du produit (Baldet& Colas, 2012).

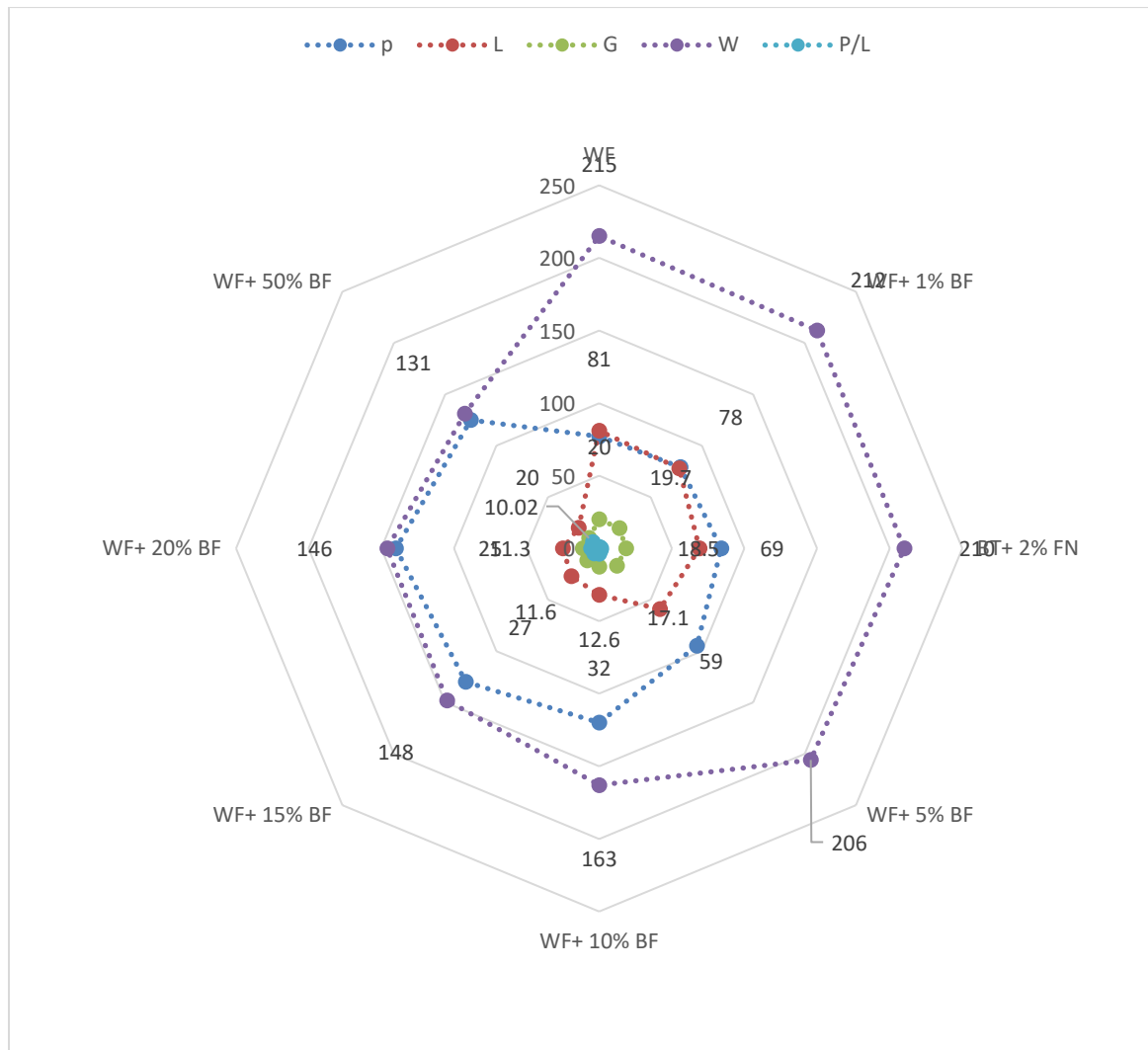


Figure 02: Caractéristiques rhéologiques de la farine de terre et du blé tendre

Nos résultats indiquent que l'incorporation de la farine de noix de terre dans les farines composées a un effet négatif sur l'énergie W, l'indice de gonflement, ainsi que sur le rapport P/L de la pâte (Figure 02).

Selon Feillet (2000), l'amidon et les pentosanes jouent un rôle essentiel dans la formation de la pâte grâce à leur capacité à fixer l'eau. Ces composés maintiennent à disposition des protéines du gluten la quantité d'eau nécessaire à la formation d'un réseau protéique efficace, tout en fixant l'excès d'eau pour éviter que la pâte ne devienne collante.

Comme l'illustre la figure 02, l'indice de gonflement diminue progressivement en fonction du taux de substitution, passant de 20 à 19,7, 18,5, 17,1, 12,6, puis 11,6 pour des doses de 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, et 15 % respectivement. La diminution de la capacité de gonflement peut être attribuée à la présence d'un grand nombre de cristaux d'amidon, ce qui augmente la stabilité des granules et réduit leur capacité à gonfler.

Lors de la gélatinisation à une certaine température, l'organisation des molécules d'amidon à l'intérieur des granules est perturbée, ce qui facilite les interactions entre l'amidon et l'eau, entraînant ainsi une augmentation de la capacité de gonflement (Gunaratne & Hoover, 2002)

Par ailleurs, on observe une diminution de la force boulangère (W) de la farine mixte, en particulier à des taux de substitution égaux ou supérieurs à 10 %. Cette diminution de la force boulangère peut être attribuée à la réduction du taux de gluten dans la farine mixte après mélange avec une farine sans gluten.

Malgré la baisse de la force boulangère, les valeurs obtenues pour les farines composées restent conformes aux normes de panification algériennes, qui exigent une force boulangère (W) comprise entre 130 et 180.

3. Propriétés physico-chimiques, des farines composées (maïs ou riz/ noix de terre).

Les résultats d'analyses physicochimiques des farines composées (Farine de riz/noix de terre) sont consignés dans le tableau 13.

Tableau 13:Caractéristiques de la farine de terre-noix et farine de maïs

	Farine de maïs	FM01%	FM 02%	FM 05%	FM 10%	FM 15%	FM 20%	FM 50%
Humidité %	11,1±0,00 ^d	11,3±0,00 ^{cd}	11,3±0,00 ^{cd}	11,5±0,00 ^b	11,3±0,00 ^{2c}	12,2±0,0 ^a	12,2±0,00 ^{1a}	12,2±0,03 ^a
Protéine %	7,0±0,00 ^{1ab}	6,9±0,00 ^{1c}	7,00±0,0 ^{bc}	7,1±0,00 ^a	7,00±0,0 ^{bc}	7,00±0,0 ^{bc}	7,02±0,0 ^{bc}	7,01±0,0 ^{bc}
MG%	2,6±0,00 ^{NS}	2,5±0,00 ^{NS}	2,5±0,00 ^{NS}	2,5±0,00 ^{2NS}	2,5±0,00 ^{NS}	2,5±0,00 ^{NS}	2,5±0,00 ^{NS}	2,5±0,00 ^{NS}
Cendre %	1,4±0,00 ^{4b}	1,42±0,03 ^c	1,42±0,00 ^a	1,4±0,00 ^b	1,42±0,00 ^b	1,39±0,00 ^b	1,4±0,00 ^b	1,4±0,00 ^b
AW	0,58±0,01 ^{6b}	0,556±0,00 ^a	0,62±0,00 ^a	0,58±0,00 ^a	0,58±0,00 ^a	0,58±0,00 ^a	0,58±0,00 ^a	0,58±0,00 ^a

(n 3= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Contrairement à la farine de blé tendre, la farine de maïs est une farine sans gluten souvent utilisée dans les recettes de pâtisserie. Nos résultats révèlent que la substitution de la farine du tubercule de noix de terre dans la farine de maïs a un impact sur l'humidité, les protéines, le taux de cendres, et l'activité de l'eau, à l'exception de la teneur en matières grasses.

On observe que la teneur en eau augmente de 11,1 % dans la farine de riz à 12,2 % dans la farine contenant 50 % de substitution de farine de noix de terre. La teneur en protéines varie légèrement selon les taux de substitution, avec des valeurs respectives de 7 % (0 % de substitution), 6,9 % (1 % de substitution), et 7,01 % (50 % de substitution).

En ce qui concerne les matières grasses, les taux restent constants, oscillant entre 2,55 % et 2,56 %, sans effet significatif lié à la substitution. Les analyses physicochimiques des farines composées (farine de riz/noix de terre) sont détaillées dans le tableau 14 correspondant.

Tableau14:Caractéristiques de la farine de terre-noix et farine de riz.

	Farine de riz	FR01%	FR 02%	FR 05%	FR10%	FR 15%	FR 20%	FR 50%
Humidité %	10,65±0,1 ^b	9,05±0,00 ^d	9,05±0,00 ^d	9,32±0,60 ^d	10,21±0,22 ^c	11,16±0,2 ^a	11,08±0,05 ^a	11,07±0,26 ^a
Protéine %	5,49±0,26 ^c	6,80±0,11 ^{ab}	6,87±0,00 ^{ab}	7,03±0,00 ^a	6,87±0,00 ^{ab}	6,88±0,00 ^{ab}	6,85±0,00 ^{ab}	6,88±0,00 ^{ab}
MG%	4,28±0,03 ^b	2,30±0,043 ^a	2,35±0 ^a	2,36±0,13 ^a	2,36±0,04 ^a	2,36±0,022 ^a	2,35±0 ^a	2,35±0,009 ^a
Cendre %	0,98±0,00 ^d	1,36±0,033 ^c	1,35±0,0 ^a	1,36±0,0 ^b	1,34±0,0 ^b	1,36±0,0 ^b	1,35±0,0 ^b	1,36±0,0 ^b
AW	0,49±0,02 ^b	0,54±0,0 ^a	0,61±0,0 ^a	0,57±0,0 ^a	0,57±0,0 ^a	0,57±0,0 ^a	0,57±0,0 ^a	0,57±0,0 ^a

(n 3= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

La farine de riz étudiée présente les caractéristiques suivantes : une teneur en eau de 10,65 %, 5,49 % de protéines, 4,28 % de matières grasses, 0,49 % de cendres, et une activité de l'eau (Aw) de 0,49.

Les résultats montrent que la substitution de la farine du tubercule de noix de terre dans la farine de riz a un impact significatif sur l'humidité, la teneur en protéines, les matières grasses, les cendres, ainsi que sur l'activité de l'eau.

À de faibles taux de substitution, on observe une légère diminution de la teneur en eau, passant de 9,05 % à 9,33 % pour des substitutions de 1 % à 5 %. Cependant, à partir d'un taux de substitution de 15 %, une augmentation de l'humidité est constatée, atteignant 11,07 % à un taux de substitution de 50 %.

En ce qui concerne la teneur en matières grasses, les résultats révèlent une diminution progressive à mesure que le taux de substitution augmente, passant de 4,28 % dans la farine de riz pure à 2,35 % à un taux de substitution de 50 %.

4. Enquête d'opinion

4.1. Profil des enquêtées

Tableau 15 : Caractéristiques sociodémographiques des enquêtées

Région	Est	27,27%
	Ouest	40,91%
	Centre	22,73%
	Sud	9,09%
	Alger, Batna, BourdjbouAraridj, Khenchela, Oran, Skikda, Chlef, Mostaganem, Sétif, Tlemcen, Mascara, Tamanrasset, Biskra, Tiaret	
Sexe	Femme	59,09%
	Homme	40,91%
Âge	Moins de 23 ans	9,09%
	23 à 40 ans	63,64%
	40 à 60 ans	22,73%
	40 à 60 ans	4,55%
Catégorie socioprofessionnelle	Étudiants	18,18%
	Employé	63,64%
	Vendeur des plantes médicinales	4,55%
	Retraité	9,09%
	Sans emplois	4,55%
Utilisez-vous des plantes médicinales ?	Non	13,64%
	Oui	86,36%

L'échantillon de l'étude comprenait une répartition équilibrée entre les sexes, avec 59,09 % de femmes et 40,91 % d'hommes. L'âge des participants se situait principalement entre 23 et 40 ans, indiquant une prédominance des jeunes adultes dans l'échantillon. Sur le plan professionnel, 63,64 % des répondants étaient employés, ce qui représente le groupe professionnel le plus important par rapport aux vendeurs de plantes médicinales, aux retraités, et aux étudiants.

L'enquête révèle qu'une grande majorité des participants (86,36 %) ont eu recours à la médecine traditionnelle, en particulier par l'utilisation de plantes médicinales, ce qui suggère une forte tendance à l'utilisation des thérapies alternatives dans la population étudiée. En ce qui concerne la répartition géographique, il a été observé que 40,91 % des répondants étaient originaires de la région Ouest, tandis que 27,27 % provenaient de la région Est, indiquant une variabilité régionale dans l'utilisation des plantes médicinales.

4.2. Sources d'approvisionnement en plantes médicinales

Parmi les individus ayant déclaré utiliser des plantes médicinales (86,36 % de l'échantillon total), 49,09 % s'approvisionnaient principalement en plantes médicinales dans des parapharmacies, ce qui suggère une préférence pour les plantes disponibles dans les circuits commerciaux officiels. En parallèle, 42,73 % des utilisateurs ont déclaré se procurer les plantes par cueillette directe, ce qui peut indiquer une connaissance traditionnelle des plantes et un accès aux sources naturelles.

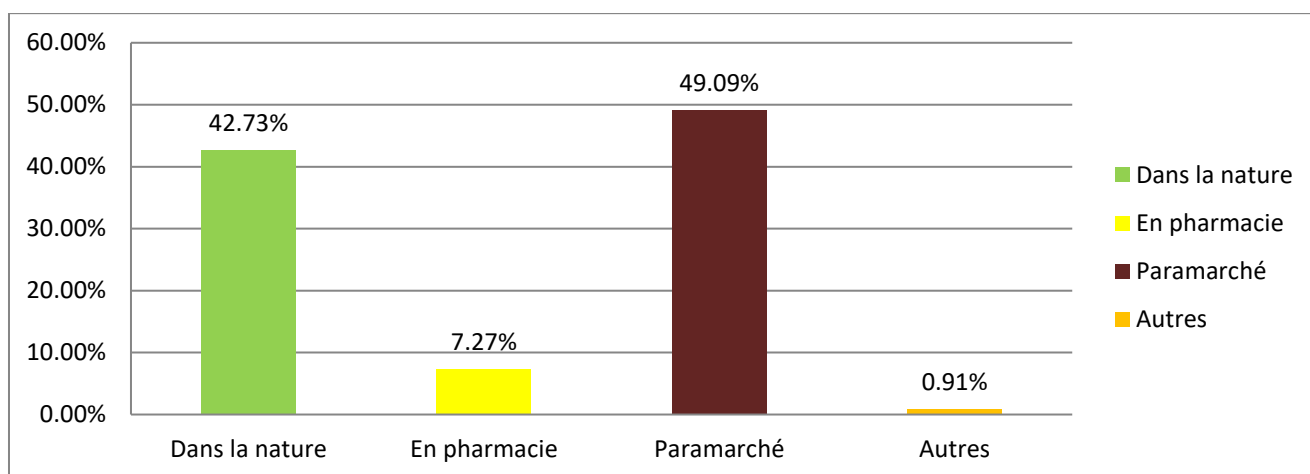


Figure 03 : présentation graphique des résultats des réponses sur la source des plantes médicinales utilisées

4.3. Conscience de l'utilisation des plantes médicinales

Les résultats de l'enquête montrent que 54,55 % des répondants ne font pas entièrement confiance aux plantes médicinales comme méthode de traitement. Les principales raisons évoquées par les participants incluent la crainte des effets secondaires potentiels, la toxicité de certaines plantes, ainsi que l'incertitude quant à l'origine et la qualité des plantes utilisées. Ces

résultats suggèrent une certaine prudence et une conscience des risques associés à l'utilisation des plantes médicinales chez une majorité des individus interrogés.

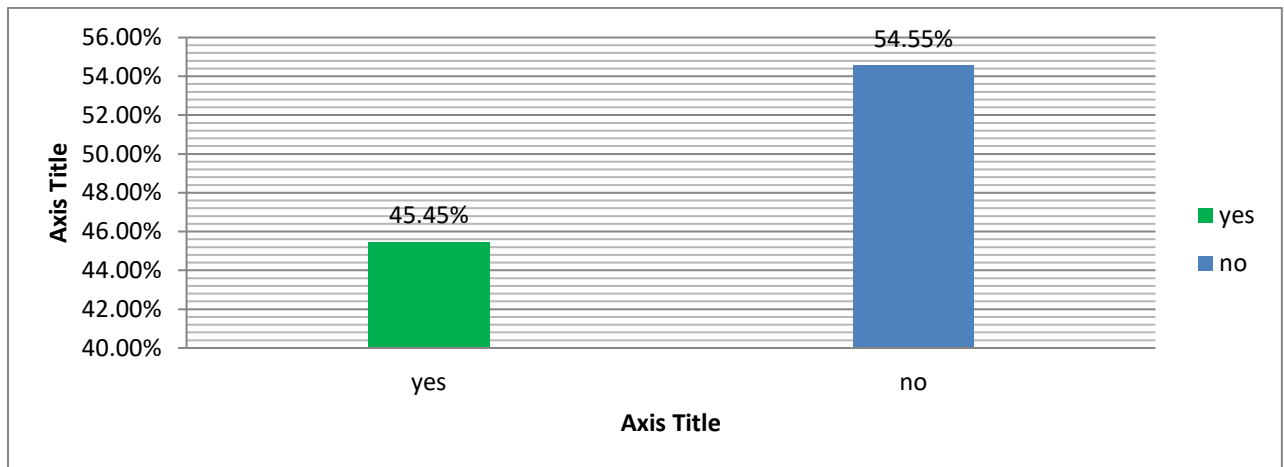


Figure 04 : présentation graphique des résultats des réponses sur conscience sur l'utilisation des plantes médicinales

4.4.Source de la noix de terre 'Telghoud'

Pour les utilisateurs de la noix de terre pour le traitement, 50% des interrogés utilisent la noix de terre vendue au para marché, 31,82% utilisent la noix de terre présente sur les champs (dans la nature)

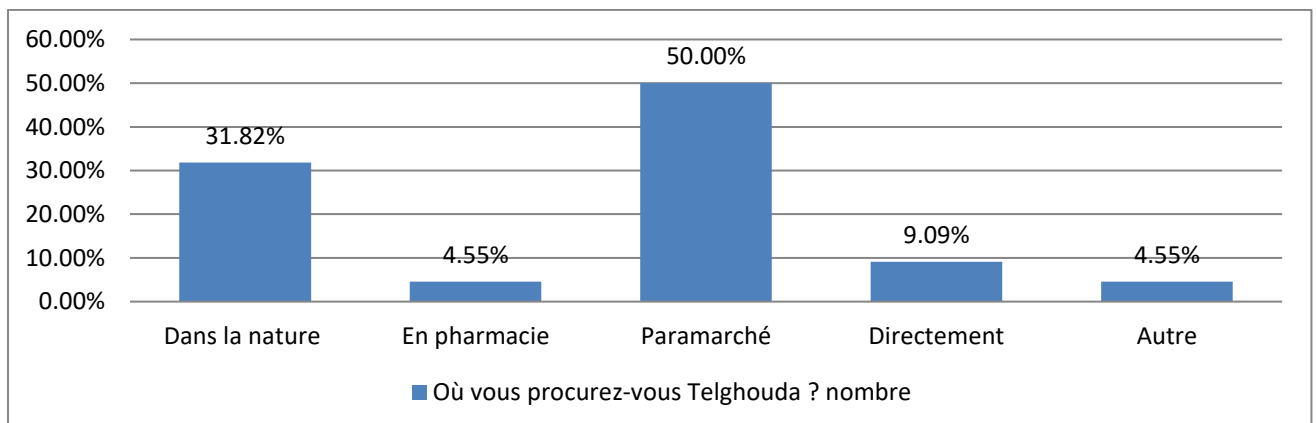


Figure 05 : présentation graphique des résultats des réponses sur la source de la noix de terre 'Telghoud'

4.5.Forme d'utilisation de la noix de terre, fréquence et modalités de traitement

Selon les résultats illustrés sur la figure 06, 42,71% des interrogés ont déjà utilisé ou un de leur proche a déjà utilisé la plante pour le traitement, et ce dans le cas d'allergie, allergie respiratoire, le goitre, la prise de poids, problème de la thyroïde des fréquences variables allant d'une fois par semaine a deux fois par mois.

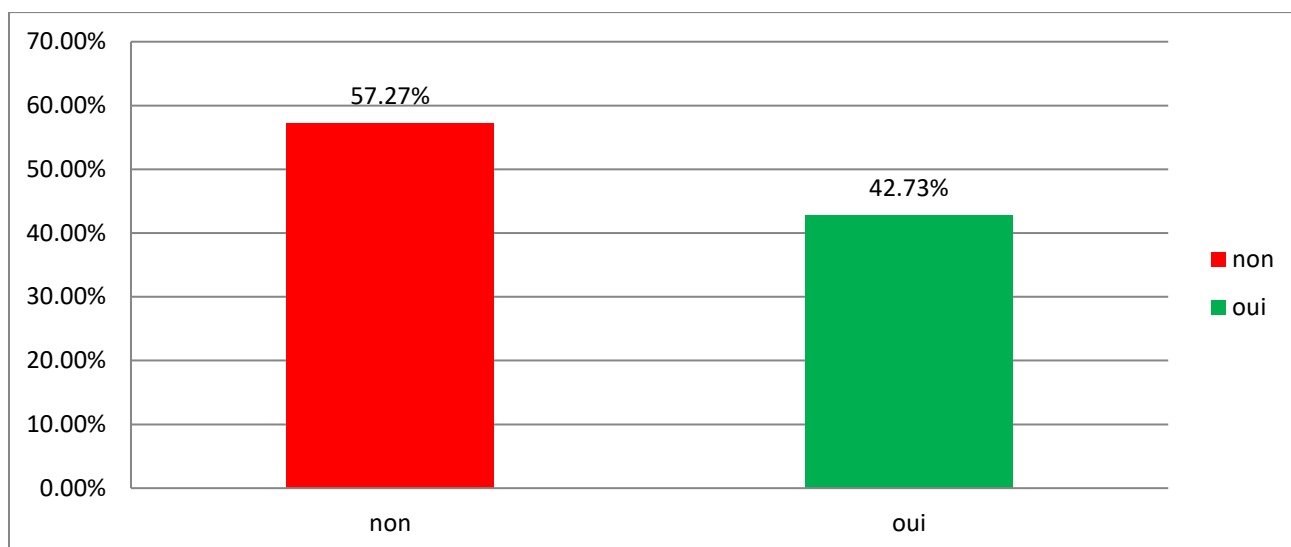


Figure 06 : présentation graphique des résultats des réponses sur la forme d'utilisation de la noix de terre, fréquence et modalités de traitement

La forme des remèdes à base de noix de terre utilisée selon les interrogés varie, parmi les utilisateurs certains ont pris la poudre du tubercule avec du lait, d'autre avec le yaourt, d'autre ont consommé le tubercule cuit à la vapeur ou la poudre avec du miel, au grillé 'Eldjmer'.

Conclusion

L'analyse des caractéristiques physico-chimiques et technologiques du tubercule du *B.Bulbocastanum* réduit en farine a permis de mettre en valeur la noix de terre. Nos résultats indiquent que la farine de noix de terre présente une teneur en matières grasses ne dépassant pas 3,38 % pour les échantillons de Mostaganem et Tissemsilt, tandis que l'échantillon de Relizane se distingue par une teneur élevée en cendres, atteignant 3,96 %. En termes d'analyse sensorielle, les paramètres de couleur (L^* , a^* , b^*) révèlent que la farine récoltée à Khenchela est de couleur plus claire.

Les échantillons récoltés en N-1 se caractérisent par une teneur élevée en matières grasses et en cendres, mais présentent une difficulté notable à être réduits en farine. L'analyse des caractéristiques physico-chimiques des farines substituées à des taux de 5 %, 10 % et 15 % de farine de noix de terre par rapport à la farine de blé tendre 100 % a révélé une amélioration significative de la composition chimique en termes de cendres, de matières grasses et de ténacité avec l'augmentation de la substitution. Cependant, il est important de noter que cette substitution entraîne une diminution de la force boulangère, particulièrement à des niveaux de substitution égaux ou supérieurs à 10 %. Ce phénomène peut être attribué à la réduction du taux de gluten dans la farine mixte résultant de l'incorporation d'une farine sans gluten.

Les résultats montrent également que la substitution de la farine de tubercule de noix de terre dans la farine de riz a un impact significatif sur l'humidité, le contenu en protéines, le taux de matières grasses, le taux de cendres et l'activité de l'eau. En revanche, pour la farine de maïs, aucune variation significative n'a été observée, à l'exception du taux de matière grasse.

Enfin, les résultats d'une enquête menée auprès des utilisateurs de la noix de terre suggèrent l'existence d'un lien potentiel entre l'utilisation du tubercule et des bienfaits thérapeutiques, notamment dans le traitement de certaines pathologies telles que les allergies et les dysfonctionnements thyroïdiens. Ces conclusions soulignent l'importance de la noix de terre non seulement en tant qu'aliment, mais également en tant que source potentielle de substances bénéfiques pour la santé, justifiant ainsi de futures recherches approfondies sur ses propriétés médicinales.

III. Qualité de carcasse et de viande des lapins nourris au tubercule de noix de terre

Partie

Bibliographique

Introduction

Les coûts de l'alimentation des lapins représentent le principal coût de la production de lapins et impactent donc fortement la rentabilité. Les principaux composants du régime alimentaire des lapins (à savoir les fibres, l'amidon et les protéines) sont caractérisés ainsi que leurs implications sur les performances (Pinheiro et Gidenne, 2024). Cependant, une alimentation adéquate est essentielle pour assurer une rentabilité dans l'élevage et l'un des principaux défis de l'élevage des lapins réside dans l'accès à une alimentation de qualité (Diallo *et al.*, 2024)

L'incorporation de sous-produits agro-industriels dans les régimes alimentaires des lapins promet non seulement une agriculture durable, mais améliore également la qualité de la viande, notamment les déchets de fruits et de nourriture, les déchets de pulpe agricole, les sous-produits de racines de manioc, les sous-produits d'olive, les résidus de culture, les drêches de brasserie séchées au soleil, les drêches de distillation et les solubles, ainsi que le marc de fruits (Jones, 2024). Or, Oso et al. (2010) ont découvert que l'alimentation avec régime de racine de manioc non pelée à une concentration de 20 % pour les lapins n'avait pas d'effets négatifs sur la digestibilité des nutriments et la performance animale.

Notre objectif s'agit d'évaluer l'effet de l'incorporation du *B.Bulbocastanum* dans le régime alimentaire des lapins, sur leurs paramètres pondéraux ainsi que la qualité de viande.

1. Cuniculture

1.1. Définition et classification taxonomique du lapin

Les lapins, dont le nom d'espèce est *Oryctolagus cuniculus*, sont des herbivores monogastriques et appartiennent à l'ordre des Lagomorpha (famille des Lagomorpha, qui comprend espèces de lapins et de lièvres).

Une classification est présentée dans la figure 07. (Lebas, 2003 ; Arnold, 2005 ; Gidenne et Lebas, 2005). Les Lagomorpha sont divisés en deux familles. Pikidae appartient à la famille des Pikidae, dont il n'existe actuellement qu'un seul genre, et on pense que sa séparation de la famille des Leporidae s'est produite au moins au cours de l'Éocène (il y a 50 millions d'années).

La famille des Leporidae comprend également des lièvres et des lapins, et son premier ancêtre fossile aurait vécu en Mongolie il y a 55 millions d'années (Bekhti, 2024).

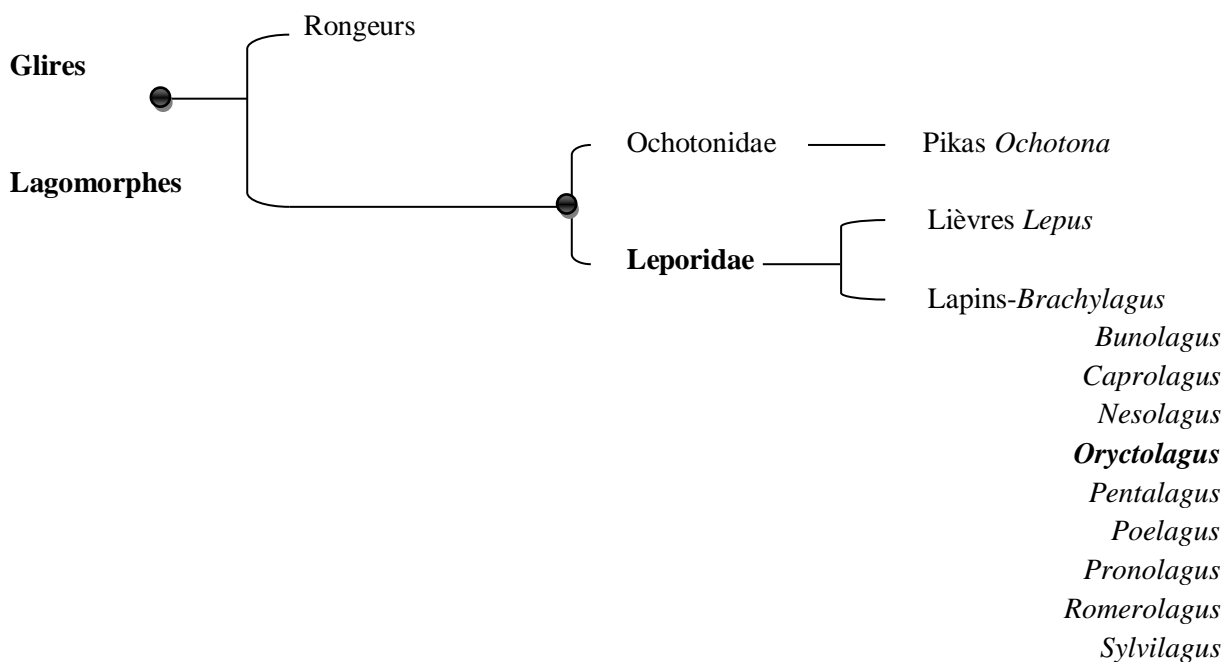


Figure 07: Phylogénie simplifiée illustrant les familles et les genres de Lagomorphes (Bekhti, 2024).

1.2. Origine du lapin « *Oryctolagus cuniculus* »

Le lapin fut "découvert" en Espagne vers 1000 av. J.-C. par les Phéniciens. En arrivant dans la péninsule ibérique, les grands navigateurs de la Méditerranée orientale ont été frappés par l'abondance de petits mammifères fouisseurs que l'on appelle aujourd'hui lapins. Comme ces

créatures ressemblaient en apparence aux damans trouvés dans leur propre pays, qui vivent également en colonies et creusent des terriers, les Phéniciens ont nommé la région « le pays des damans » ou « I-Saphan-Im ». Il est à noter que saphan (ou sephan) signifie daman en phénicien. La version latinisée de ce nom deviendra finalement « Hispania », selon Rougeot en 1981. Ainsi, le nom même de l'Espagne est lié à la présence historique des lapins sur son territoire (Lebas, 2003 ; Arnold, 2005).

1.3.Morphologie extérieure

Dans la plupart des races (à l'exception des lapins nains), les principales parties du corps sont:

- **Tête** : possède de nombreuses soies tactiles.
- **Bouche** : située au centre et possède deux lèvres, relativement petite
- **Nez** : contient deux narines obliques.
- **Yeux** : sont situés de chaque côté de la tête et comportent plusieurs moustaches sur le dessus.
- **Pattes antérieures** : courtes, terminées par cinq doigts munis chacun d'une longue griffe recourbée.
- **Pattes postérieures** : est la plus longue, se terminant par seulement quatre doigts, dont chacun possède également de longues griffes recourbées.
- **Oreilles** : sont principalement couvertes de poils courts à l'extérieur.
- Ils ont une forte base cartilagineuse (Lebas, 2003).
- **Mamelles** : Sur la face ventrale du corps, le nombre de papilles fonctionnelles sur une même papille (Coisne, 2000).

1.4.Alimentation des lapins

Il est possible de nourrir les lapins avec des fourrages ou des céréales sous leur forme naturelle ou avec des aliments présentés en farine ou en aggloméré. Il est essentiel d'évaluer les exigences nutritionnelles des lapins ainsi que la valeur nutritive des matières premières (Kito et al.,2024).Le tableau 16 présente les principales recommandations concernant la composition des aliments granulés pour la catégorie de lapins (Gidenne et al., 2015).Gaudré et

Granier (2010) montrent qu'au moment du sevrage, l'emploi de ressources alimentaires concentrées en protéines, hautement digestibles, permet de diminuer l'utilisation du tourteau de soja, dont le prix peut être élevé, tout en apportant une diversification de la formulation de l'aliment.

Tableau 16: Principales suggestions pour la préparation des aliments granulés

Unité=g/Kg d'aliment sauf indication contraire	Jeunes en croissance		lapine en production		Future productrice	Lapin a l'entretien	Aliment unique	
	Péri servage	Fin de croissance	Semi intensive	intensive				
<i>Âge des lapins</i>	3 à 6 semaines	7 à 11 semaines	>19 semaines	>19 semaines	10 à 19 semaines	Adulte	Tout âge	
<i>Énergie digestible ED</i>	MJ	9,4 à 9,8	9,8 à 10,2	10,5 à 10,7	10,7 à 10,9	9,5 à 9,9	9 à 9,3	9,6 à 10,2
<i>Protéine digestible PD</i>	g	110 à 120	100 à 115	115 à 130	124 à 140	100 à 115	95 à 100	110 à 125
Ratio PD/ED	g/MJ	11,6 à 12,2	9,8 à 11,3	10,9 à 12,1	11,7 à 12,8	10,5 à 11,6	10,5 à 10,8	11,5 à 12,3
Acides aminés digestibles								
Lysine	g	6	7,5	6,4	6,6	5,5	5,1	5,9
Soufrés totaux	g	4,7	4,3	4,6	4,9	4,3	4	4,7
Thréonine	g	4,4	4,2	4,3	4,7	4,2	3,7	4,3
Fibres								
Lignocellulose (ADFom)	g	≥190	≥170	160 à 185	155 à 180	≥170	≥150	≥170
Lignines (ADL)	g	≥55	≥50	≥45	≥40	≥50	≥40	<45
Fibres digestibles		<240	<220	<270	<260	<220		
FD/ADF		≥1,3	≥1,3	1,3 à 1,6	1,3 à 1,5	1,3 à 1,5	1,3 à 1,6	≤1,3
Minéraux								
Calcium	g	8	7	10,5	12	7,5	7	10
Phosphore	g	4	3	5 à 6	5,5 à 6,5	3,5	3	5
Sodium	g	2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2
Oligoéléments								
Cuivre	mg/Kg	6	6	10	10	6	6	8
Zinc	mg/Kg	30	30	50	50	45	45	45
Fer	mg/Kg	35	35	60	60	50	35	50
Vitamines								
Vitamine A	UI/Kg	6000	6000	10000	10000	10000	6000	8000
Vitamine D	UI/Kg	900	900	900	900	900	900	900
Vitamine E	UI/Kg	40	40	50	50	40	15	40
Vitamine K3	mg/Kg	1	1	2	2	2	1	2

^aValeur pour des lapins lignés commerciaux européens nourris librement avec un aliment granulé à 12% d'humidité

^cCritères de la méthode d'analyse séquentielle des fibres selon la méthode de Van Soest (Gidenne, 2015)

^bFibres digestibles : somme des hémicelluloses (AnDF_{or}) et pectines insolubles (Gidenne, 2015)

1.5. Comportement reproductif

Chez le lapin, la femelle atteint la maturité sexuelle à 3,5 mois et le mâle à 4 mois. Les mâles sont polygames, avec des copulations tout au long de l'année, mais la majorité des mises bas se produisent de février à août. Les femelles qui pondent sont les plus nombreuses d'avril à

juin. Chez les femelles dominantes, le succès de reproduction est plus élevé que chez les femelles dominées (Rossilet, 2004 ; Szendrőetal., 2012).

La naissance des lapereaux se fait sans oreilles et sans yeux ; ils ne commencent pas à voir avant 10 ou 12 jours. La mère les allaite quotidiennement pendant une période de trois à quatre semaines.

Cette période est marquée par une prise de poids rapide des jeunes : ils passent de 35 à 45 g à la naissance à 80 % du poids adulte à 3 mois (Aulagnier et al., 2008).

Selon la bibliographie, En mode de reproduction intensif la femelle peut mettre bas 10 à 11 fois/ans (Rossilet, 2004 ; Szendrőetal., 2012).

1.6.Taille ou poids adultes

Selon Chantry Darmon (2005), les races de lapins sont souvent classées, par commodité, en fonction du poids ou de la taille adulte. Ils sont divisés en quatre catégories : petites (légères) et naines, moyennes, géantes (lourdes)

- Selon Chantry Darmon (2005), les races naines, dont le poids adulte est d'environ 1 kg, sont fréquemment employées pour la production de lapins de compagnie.
- Parmi les races légères, on retrouve le Russe, le Petit Chinchilla ou l'argente Anglais, qui ont un poids adulte compris entre 2,5 et 3 kg.
- Les races moyennes, avec un poids adulte compris entre 3,5 et 4,5 kg, constituent la base des races en Europe utilisées pour la production intensive de viande.
- Les races lourdes se distinguent par un poids adulte supérieur à 5 kg, avec le Géant de Flandres comme race la plus imposante (7 à 8 kg)

1.7.Intérêts du lapin pour la recherche :

La culture cellulaire in vitro ne peut pas remplacer l'utilisation de modèles animaux pour l'étude des maladies humaines et la production de nouveaux médicaments, car certains mécanismes doivent être étudiés dans un organisme complet qui s'approche de la complexité

du corps humain. Toutefois, en raison de sa petite taille et de sa prolificité élevée associée à un court temps de gestation, le lapin présente les caractéristiques nécessaires pour être un modèle animal de qualité, remplaçant ainsi le modèle murin le plus populaire (Chantry-Darmon, 2005). Selon Yanni (2004), le lapin néo-zélandais, pesant entre 2 kg et 5 kg, est le plus couramment employé.

1.8.Viande lapine

Riche en protéines de haute valeur biologique, maigre, et faible en acides gras saturés et en cholestérol (Simões, 2024). La viande de lapin a la plus faible valeur calorique comparativement aux autres viandes (Tableau 17). Ces caractéristiques sont de plus en plus attrayantes pour les consommateurs soucieux de leur santé et de leur apport nutritionnel (Siddiqui et al., 2024). Selon le livre de médecine chinoise "Enregistrements supplémentaires des Médecins Célèbres", la viande de lapin a l'effet de renforcer la rate et l'estomac et d'éliminer les toxines du corps. Cependant, une température de traitement trop élevée, une méthode de traitement inadéquate, des conditions de stockage médiocres, un temps de transport trop long et d'autres raisons peuvent entraîner une perte de nutriments (Deng et al., 2024).

Tableau 17: valeur nutritionnelle de la viande selon les différentes espèces (Deng et *al.*, 2024).

Composition nutritionnelle	Lapin	Veau	Chèvre	Poulet
Lipides (%)	1.51	4.4	11.1	2.7
Protéines (%)	21.97	21.9	18.3	23.6
Lysine (%)	1.73	1.96	1.62	1.59
Cholestérol (mm/100g)	60.0	106.0	90.0	75.0
Teneur en humidité (%)	75.3	71.2	68.6	71.6
Digestibilité (%)	85.0	55.0	68.0	50.0

Partie Expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectifs de travail

Cette étude vise à évaluer l'effet de l'ajout de tubercules de *Bunium bulbocastanum* dans l'alimentation de lapins mâles de race Tête de Lion (*Oryctolagus cuniculus forma domestica*) présentant des troubles thyroïdiens induits (hypothyroïdie et hyperthyroïdie). L'objectif est d'analyser les répercussions de cette supplémentation sur les caractéristiques de la carcasse, la mortalité, et la qualité de la viande, afin d'explorer des solutions alimentaires potentielles pour améliorer la santé et la productivité des lapins en élevage.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

En juin 2023, des tubercules de *Talghouda* (identifiés comme *Bunium bulbocastanum*) ont été collectés dans la région nord-ouest de l'Algérie et authentifiés par des experts du Département d'Agronomie de l'Université UMAB. Les tubercules, sélectionnés pour leur maturité et leur fraîcheur, ont d'abord été stockés à 4 °C pour éviter toute détérioration avant d'être ramenés à température ambiante pour le séchage. Ce dernier a été effectué par convection à air chaud à 105 °C pendant 24 heures, selon les protocoles établis par Chemists et Chemists (1925). Une fois séchés, les tubercules ont été broyés en une poudre fine. Des essais préliminaires ont ensuite permis de déterminer un taux d'incorporation optimal de 35 % de poudre de tubercule dans l'alimentation, ce qui a offert les meilleurs résultats en matière de croissance, de régulation thyroïdienne et de santé globale des lapins.

2.2. Matériel animal

2.2.1. Présentation de l'animalerie pour élevage

Trente lapins mâles de race Tête de Lion (*Oryctolagus cuniculus*), âgés de 45 jours, ont été répartis en trois groupes principaux, chacun subdivisé en deux sous-groupes (groupe témoin et groupes expérimentaux), pour un essai mené dans un bâtiment dédié à l'animalerie, situé à Hassi Maméche, Mostaganem. Le bâtiment expérimental, d'une superficie de 7 x 5 mètres, est doté de fenêtres permettant un éclairage naturel et une ventilation contrôlée, assurant une température ambiante stable entre 20 et 30 °C, idéals pour le bien-être physiologique des lapins. L'expérimentation s'est déroulée du 27 mai au 7 juin 2023, avec un suivi régulier des conditions environnementales.

Avant l'arrivée des animaux, le local a été préparé par un nettoyage en profondeur et une désinfection à l'aide d'une solution de TH5 diluée à 1 % (0,2 à 0,4 L/m²). Les murs et les cages ont été enduits de lait de chaux pour renforcer les conditions sanitaires, et une station d'hygiène a été installée pour les manipulations. Une période d'acclimatation a été respectée afin de minimiser le stress des animaux avant le début de l'essai.

Douze cages métalliques, chacune équipée de mangeoires et d'abreuvoirs, ont été utilisées pour l'élevage, avec deux à trois lapins par cage. Un plastique a été placé sous chaque cage pour collecter et quantifier les déchets alimentaires (pertes de granulés et grattages), afin d'évaluer les comportements alimentaires et les pertes éventuelles de manière précise. La configuration expérimentale a été minutieusement élaborée pour offrir un environnement contrôlé, garantissant des conditions d'élevage optimales pour l'étude des effets des régimes alimentaires sur les lapins.

2.2.2. Aliment granulé

Les granulés utilisés pour cette expérimentation sont des aliments de finition pour lapins vendus sous la marque SIM, composés de tourteau de soja, de mélasse de canne, de coque de soja, de son de blé, de carbonate de calcium, d'huile de soja et de minéraux et de vitamines adaptés aux besoins nutritionnels des lapins. Il est également des acides aminés, carbonate de sodium et d'autres composants. Cependant, les éleveurs font face à des difficultés économiques en raison des pénuries et de l'augmentation continue des prix dans l'approvisionnement en matières premières importées.

Face à ces contraintes, cette étude vise à explorer des alternatives en substituant certains ingrédients importés par des ressources disponibles localement, comme les tubercules de noix de terre. L'objectif est d'évaluer la faisabilité d'incorporer ces tubercules dans l'alimentation des lapins, afin de réduire la dépendance aux matières premières importées.

Dans cette expérimentation, les groupes de contrôle ont reçu soit un régime standard (C), soit un régime supplémenté avec 35 % de Talghouda séché (Csup). Cette approche expérimentale permet d'analyser l'impact de cette substitution partielle sur la croissance, la santé et les performances zootechniques des lapins. En cas de résultats concluants, cette alternative pourrait atténuer les problèmes d'approvisionnement et de coûts associés aux matières premières importées, tout en valorisant les ressources agricoles locales.

2.3.4. Méthode de constitution des lots

Description des Groupes Expérimentaux

En plus des groupes témoins (C et Csup), l'étude inclut des groupes expérimentaux pour évaluer l'effet des tubercules de Talghouda dans des conditions de dysfonctionnement thyroïdien induit, en suivant des protocoles d'induction et de traitement spécifiques :

1. **Groupe Hypothyroïdien** : Ce groupe est composé de deux sous-groupes distincts :
 - **HytCar** : Un sous-groupe induit à l'hypothyroïdie par une administration orale quotidienne de 5 mg/kg de poids corporel de carbimazole pendant 10 jours, conformément au protocole décrit par Hossain (2019). Après induction, les lapins ont reçu un traitement de 20 jours par voie orale avec de la lévothyroxine (50 µg/kg/jour) pour stabiliser la fonction thyroïdienne.
 - **HytBu** : Un sous-groupe également induit à l'hypothyroïdie de la même manière que HytCar, mais traité pendant 20 jours avec une alimentation contenant 35 % de Talghouda séché, afin d'évaluer l'effet de cette supplémentation sur les lapins hypothyroïdiens.
2. **Groupe Hyperthyroïdien** : Ce groupe est également divisé en deux sous-groupes :
 - **HyrLevo** : Un sous-groupe induit à l'hyperthyroïdie par une administration orale de lévothyroxine (50 µg/kg/jour) conformément à la méthode de Muna et al. (2017).
 - **HyrBu** : Un sous-groupe induit à l'hyperthyroïdie de manière identique à HyrLevo, mais traité ensuite avec un régime alimentaire contenant 35 % de Talghouda pour évaluer son potentiel modulateur dans un état d'hyperthyroïdie.

Ces groupes expérimentaux permettent d'explorer les effets de l'incorporation des tubercules de Talghouda sur les réponses thyroïdiennes et la santé globale des lapins dans des états contrastés de dysfonctionnement thyroïdien. Le tableau 19 résume la répartition des groupes et sous-groupes, ainsi que les traitements administrés.

Tableau 18: Modalité de Provocation et traitement du dysfonctionnement de la thyroïde

	Provocation			Traitement		
	Agent	Concentration	Durée	Agent	Concentration	Durée
HyrCar	L-Thyroxine (levotyrox)	50µg/Kg/J	J1 au J10	Carbimazole (CB2)	5mg/Kg/J	J11 au J30
HyrTal	L-Thyroxine (levotyrox)	50µg/Kg/J	J1 au J10	NT35%	120g Aliment standard a 35% NT/ sujet	J11 au J30
HytLevo	Carbimazole (CB2)	5mg/Kg/J	J1 au J10	L-Thyroxine (levotyrox)	50µg/Kg/J	J11 au J30
HytTal	Carbimazole (CB2)	5mg/Kg/J	J1 au J10	NT	120g Aliment standard a 35% NT/ sujet	J11 au J30

2.3.5. Abattage

Après trente jours d'élevage, l'abattage des deux souches s'est déroulé comme suit :

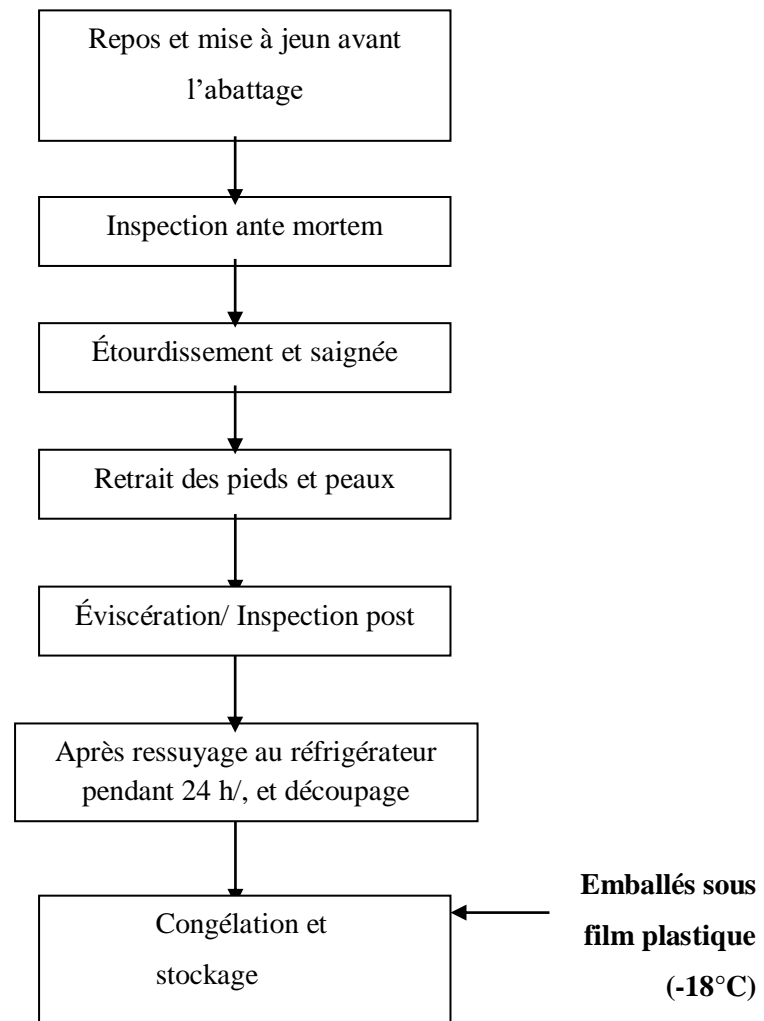


Figure 08 : Diagramme du processus d'abattage

2.3.6. Rendement de la carcasse des lapins

2.3.6.1. Poids de carcasse et organes

Après une période de jeûne de 12 heures, les lapins ont été abattus, et les paramètres suivants ont été enregistrés pour évaluer les effets des différents traitements :

- Poids du tube digestif plein
- Poids de la carcasse chaude
- Poids vif avant l'abattage
- Poids de la peau
- Poids du tube digestif plein

- Poids de la tête, des organes internes (foie, reins, cœur)
- Poids de la carcasse froide (après ressuage de 24 heures à 4 °C)
- Poids des principales découpes : cuisses, râbles et avants

Ces données permettent d'analyser la composition corporelle et la qualité de la carcasse, ainsi que d'évaluer l'impact des régimes alimentaires (avec ou sans incorporation de tubercules de Talghouda) sur les performances de croissance et les caractéristiques de la viande des lapins dans différents états de dysfonctionnement thyroïdien.

2.3.6.2. Gain moyen quotidien GMQ

Le Gain moyen quotidien (GMQ en kg/jour) donne des informations sur la rapidité de croissance. Il s'agit d'un indicateur indirect qui est calculé en fonction du poids hebdomadaire des animaux. On calcule le gain moyen quotidien pour chaque semaine d'engraissement.

$$\text{GMQ (g/ jour)} = \frac{(\text{poids vif à la fin de la période (g)} - \text{poids vif au début de la période (g)})}{\text{Nombre de jours de la période}}$$

2.3.7. Analyses physicochimiques & nutritionnelles sur la viande

a) Détermination du pH

Le pH des échantillons de viande a été déterminé selon la norme AFNOR NF ISO 10-390.

b) Détermination de la matière sèche et de la teneur en eau (AFNOR, 1985)

La mesure de la matière sèche implique la déshydratation d'un poids spécifique de la prise d'essai de l'échantillon à une température de 105 °C dans une étuve pendant une période de 24 heures.

c) Méthodes de dosage des cendres (AFNOR, 1985)

Pour mesurer la cendre, on incinere un poids spécifique de la prise d'essai dans le four à moufle conformément a la méthode (AFNOR, 1985).

d) Méthode de dosage des protéines Lowry et *al.*, (1951)

Le dosage des protéines a été effectué par la méthode évoquée par Lowry et al. (1951). On obtient les complexes colorés par réaction des protéines avec le réactif Folin-Ciocalteu (un mélange de tungstate et de molybdate de sodium solubles dans l'acide phosphorique et l'acide chlorhydrique). La coloration est due à la réaction entre le Phosphomolybdate et la tyrosine et le tryptophane. Les densités optiques sont mesurées dans une plage de longueur d'onde allant de 550 à 750 nm à l'aide d'un témoin, une solution non échantillonnée. Ce dosage est réalisé avec une gamme étalon, avec des quantités d'ovalbumine connues.

3. Lieu d'analyse

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de Technologie alimentaire de Nutrition de l'université de Mostaganem.

4. Analyses statistiques

Durant cette étude, les résultats obtenus sont analysés en (STAT-BOX) en se basant sur le test de Newman et Keuls.

Résultats et discussion

1. Performances de croissance des lapins

1.1.Évolution du poids et gain quotidien moyen

Les résultats sur le poids corporel et le gain de poids quotidien moyen (GMQ) chez les lapins ayant des troubles thyroïdiens induits (hypothyroïdie et hyperthyroïdie) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 19: Poids corporel et gain de poids quotidien moyen (GMQ) en réponse à une supplémentation de 35 % en Talghouda et à des traitements pharmacologiques chez les lapins ayant une dysfonction thyroïdienne induite

	Durée	C	Csup	HyrLevo	HytTal	HytCar	HyrTal
Évolution du poids	JOUR 01	1510,27±174 ^m	1570,5±221,4 ^m	2705±380 ^d	2640±284 ^e	2595,8±198 ^f	2510,7± 15,47 ^f
	JOUR 10	1640,11±44,12 ^l	1719,09±55,90 ^k	2827,22±21,22 ^c	2663,5±17,8 ^e	2605,9±41 ^e	2525,6± 17,3 ^f
	JOUR 20	1715,38±52,25 ^k	1743,5±55,75 ^k	2940,5±24,3 ^b	2687,5±22,4 ^e	2637,18± 30,44 ^e	2635,8± 22,4 ^e
	JOUR 30	2012,4±56,40 ⁱ	1838,07±78,5 ^l	3047,15±65,4 ^a	2695,4±24,3 ^e	2666,11± 23 ^e	2740,5± 23,15 ^d
Gain moyen quotidien	GMQ1	12,98	14,86	12,22	2,35	1,01	1,49
	GMQ2	7,53	2,44	11,33	2,40	3,13	11,02
	GMQ3	29,70	9,46	10,67	0,79	2,89	10,47

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

L'étude a maintenu un taux de mortalité nul tout au long de la période de reproduction, attestant de la qualité optimale des conditions expérimentales et de leur parfaite adaptation à la souche de lapins Tête de Lion (*Lionhead*), réputée pour sa robustesse et son faible taux de mortalité (Gayrard et al., 2023).

➤ Effets des différents traitements sur le développement du poids corporel

Les variations du poids corporel ont été méticuleusement suivies sur une période de 30 jours afin d'évaluer l'impact des différents régimes alimentaires sur la croissance des lapins (Tableau 20). Les résultats sont décrits ci-après pour chaque groupe.

➤ **Groupe témoin (C)**

Les lapins du groupe témoin présentaient un poids moyen initial de $1,51 \pm 0,174$ kg au jour 1. Au terme de la période expérimentale, leur poids moyen atteignait $2,01 \pm 0,05$ kg, fournissant ainsi une base de référence pour les autres groupes.

➤ **Groupe supplémenté avec 35 % de Talghouda (Csup)**

Ce groupe affichait un poids moyen initial de $1,57 \pm 0,22$ kg. Les gains de poids enregistrés dans ce groupe indiquent que l'intégration de Talghouda dans l'alimentation stimule la croissance corporelle. Ces observations corroborent les travaux de Földešiová et al. (2015), qui ont mis en évidence les effets positifs de la supplémentation en *Curcuma longa* chez les lapins dans un cadre axé sur les performances reproductives. Cependant, notre étude élargit cette perspective en examinant les impacts sur la croissance pondérale.

➤ **Groupe hyperthyroïdien traité (HyrLevo)**

Les lapins de ce groupe avaient un poids moyen initial de $2,70 \pm 0,38$ kg. Au jour 30, leur poids moyen atteignait $3,04 \pm 0,22$ kg, démontrant un gain de poids substantiel. Ces résultats diffèrent des conclusions de Hoover et Heitmann (1972), qui ont examiné les effets de la fonction thyroïdienne sur le gain de poids en lien avec le volume cæcal et la composition en fibres alimentaires. L'augmentation significative observée ici pourrait refléter des variations dans les protocoles expérimentaux ou les régimes alimentaires utilisés.

➤ **Groupe hypothyroïdien traité avec *Buniumbulbocastanum* (HytBun)**

Ce groupe avait un poids moyen initial de $2,64 \pm 0,28$ kg. Les résultats obtenus s'alignent avec les travaux de Chentouh et al. (2017), qui ont exploré les effets des extraits de *Buniumincrassatum* sur divers paramètres physiologiques. Ces données suggèrent que *Buniumbulbocastanum* pourrait influencer positivement le poids corporel via une modulation de l'activité thyroïdienne. L'étude met en évidence son potentiel en tant que supplément alimentaire pour réguler les déséquilibres hormonaux.

➤ Groupe hypothyroïdien induit par le Carbimazole (HytCar)

Les lapins du groupe HytCar, où l'hypothyroïdie a été provoquée par l'administration de Carbimazole, présentaient un poids moyen initial de $2,59 \pm 0,19$ kg. La progression pondérale dans ce groupe rejoint les observations d'Al-Masoudi et al. (2021), qui ont évalué l'impact de la supplémentation en créatine sur les performances corporelles et reproductives. Cependant, notre étude apporte des informations précises sur les effets directs du Carbimazole en lien avec la régulation de la fonction thyroïdienne.

Au 30^e jour, les poids des lapins variaient de $2,01 \pm 0,05$ kg dans le groupe témoin à $3,04 \pm 0,22$ kg dans le groupe HyrLevo. Ces résultats mettent en évidence l'influence significative de l'activité thyroïdienne et de la supplémentation alimentaire sur la régulation du poids corporel. Les données suggèrent que *Buniumbulbocastanum* pourrait offrir des avantages thérapeutiques potentiels dans la gestion des variations pondérales associées aux dysfonctionnements thyroïdiens, en particulier dans des états d'hypothyroïdie et d'hyperthyroïdie.

➤ Gain moyen quotidien

L'étude a également évalué l'effet de la supplémentation en Talghouda sur le gain moyen quotidien (GMQ) des différents groupes expérimentaux aux 10^e (GMQ1), 20^e (GMQ2) et 30^e (GMQ3) jours de la période expérimentale. Des fluctuations significatives du GMQ ont été observées entre les groupes, révélant l'impact des traitements, notamment la supplémentation alimentaire à 35 % de Talghouda et les altérations de la fonction thyroïdienne.

Ces résultats sont en accord avec ceux d'Adeosun et Iyeghe-Erakpotobor (2014), qui ont démontré que certains composants alimentaires influencent substantiellement le rythme de croissance. Par ailleurs, Gyovai et al. (2012) ont étudié les paramètres génétiques liés au gain de poids, fournissant des éléments explicatifs pour les schémas de croissance observés dans cette étude. Ces travaux renforcent l'idée que des facteurs génétiques peuvent moduler les réponses différentielles aux traitements. Les travaux de Larzul et al. (2005), portant sur les déterminants génétiques de la croissance et de la qualité de la viande chez les lapins, offre un cadre pertinent pour comprendre la variabilité des réponses en termes de GMQ observées dans notre étude. De manière similaire, **Ragab et al. (2015)** ont exploré les paramètres

génétiques associés aux phénotypes de maladies chez les lapins soumis à divers régimes alimentaires. Ces recherches soutiennent l'hypothèse selon laquelle la génétique joue un rôle central dans les réponses aux traitements alimentaires et aux altérations thyroïdiennes.

Les observations de Saidj et al. (2021) sur l'impact, des protéines alimentaires sur les performances zootechniques corroborent nos résultats, mettant en avant l'importance de la composition nutritionnelle dans le gain pondéral. De plus, l'étude récente de Adaouri et al. (2023), centrée sur la croissance, la qualité de la viande et le rendement des carcasses chez des lapins locaux, apporte des éléments de comparaison intéressants. Ces travaux confirment l'effet de la supplémentation en Talghouda et des altérations thyroïdiennes sur la qualité et le rendement des carcasses.

Les résultats de cette étude démontrent que la supplémentation en *Bunium bulbocastanum* peut influencer positivement la croissance et le poids corporel des lapins, en interaction avec des états thyroïdiens modifiés. Ces effets, combinés aux paramètres génétiques et nutritionnels, renforcent l'intérêt de cette plante comme complément thérapeutique potentiel dans la gestion des dysfonctionnements thyroïdiens et de leurs conséquences pondérales.

2. Performances d'abattage

Les résultats sur le développement des différentes parties de la carcasse des lapins ayant des troubles thyroïdiens induits (hypothyroïdie et hyperthyroïdie) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20: Effets d'un régime supplémenté avec *Buniumbulbocastanum* sur le développement des différentes parties de la carcasse des lapins présentant différentes dysfonctions de la glande thyroïdienne.

	Témoïn	Csup	HyrLevo	HytTal	HytCar	HyrTal
Poids carcasse éviscérée (kg)	1,20±0,6 ^b	1,11±0,12 ^b	2,36±0,4 ^a	2,47±0,8 ^a	1,98±0,21 ^a	2,14±0,25 ^a
poids carcasse froide (kg)	1±0,05 ^b	1,055±0,05 ^b	1,68±0,1 ^a	1,52±0,23 ^a	1,34±0,1 ^{a,b}	1,41±0,2 ^{a,b}
Poids Tube digestif (kg)	0,43±0,01 ^{NS}	0,49±0,03 ^{NS}	0,56±0,03 ^{NS}	0,59±0,16 ^{NS}	0,46±0,07 ^{NS}	0,52±0,03 ^{NS}
Poids des reins (kg)	0,01±0 ^a	0,015±0,005 ^a	0,035±0,01 ^a	0,023±0 ^a	0,018±0 ^a	0,037±0,02 ^a
Poids du foie (kg)	0,065±0,0 ^{NS}	0,09±0,0 ^{NS}	0,087±0,02 ^{NS}	0,075±0,01 ^{NS}	0,087±0,01 ^{NS}	0,075±0,01 ^{NS}
Poids graisse para rénale (g)	1,743±0,4 ^a	0,2±0 ^b	1,2±0 ^c	0,038±0,04 ^c	0,077±0,05 ^c	0,234±0,01 ^c
Poids de la tête (kg)	0,272±0 ^c	0,272±0,01 ^c	0,35a±0 ^b	0,345±0 ^{a,b}	0,313±0,4b ^c	0,372±0,02 ^a
Poids du cœur (kg)	0,005±0 ^b	0,005±0 ^b	0,007±0 ^b	0,028±0 ^a	0,05±0 ^b	0,008±0 ^b
Poids de la peau (kg)	0,208±0,07 ^a	0,207±0,03 ^a	0,355±0,05 ^a	0,38±0,05 ^a	0,307±0,05 ^a	0,348±0,1 ^a
Poids du poumon (kg)	0,1±0 ^a	0,01±0 ^c	0,015±0 ^{b,c}	0,018±0 ^{b,c}	0,015±0 ^{b,c}	0,022±0 ^b
Poids des cuisses (g)	378,33±31,75 ^c	420±65,57 ^c	620±13,22 ^b	583,33±40,41 ^{a,b}	518,33±52,99 ^a	583,33±91,69 ^a
Poids de l'avant (g)	283,33±10,40 ^c	318,33±44,81 ^c	465±37,74 ^b	475±75,66 ^{a,b}	396,66±58,38 ^a	450±120 ^a
Poids du râble (g)	303,33±36,17 ^c	270±45,82 ^c	503,33±32,53 ^b	431,66±68,98 ^{a,b}	360±70,88 ^a	386,66±48,04 ^a

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Des variations significatives des poids corporel et musculaire ont été observées en réponse à la modulation de l'état thyroïdien et à la supplémentation en noix de terre (*Buniumbulbocastanum*). Comme le montre le Tableau 21, les poids des carcasses éviscérées étaient nettement plus élevés dans les groupes hyperthyroïdiens (HyrLevo, 2,36 ± 0,4 kg) et hypothyroïdiens traités avec Talghouda (HytBun, 2,47 ± 0,8 kg) par rapport au groupe témoin (1,20 ± 0,6 kg). Ces résultats sont en accord avec des études antérieures, comme celle de Gómez-Salazar et al. (2018), qui ont montré que les facteurs génétiques influencent de manière significative les caractéristiques des carcasses chez les lapins.

En outre, Wang et al. (2024) ont rapporté des différences spécifiques à la race en matière de performance de croissance et de caractéristiques des carcasses, ce qui reflète la variance observée dans notre étude entre les différents traitements. Nos résultats montrent une augmentation des poids de carcasse et musculaire dans les groupes traités, avec des poids de cuisse significativement plus élevés dans les groupes HyrLevo ($620 \pm 13,22$ g) et HytBun ($583,33 \pm 40,41$ g) par rapport au groupe témoin ($378,33 \pm 31,75$ g).

Par ailleurs, une réduction significative de la graisse périrénale a été observée dans le groupe HyrLevo ($1,2 \pm 0,1$ kg) par rapport au groupe témoin ($1,743 \pm 0,4$ kg). Ce résultat s'aligne avec les travaux de Dabbou et al. (2017) et de Yildiz-Gulay et Gulay (2024), qui ont exploré l'impact des suppléments alimentaires sur les caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande, suggérant que les traitements diététiques et hormonaux peuvent effectivement modifier le métabolisme lipidique.

Enfin, les poids du tractus digestif et du foie sont restés stables à travers tous les groupes de traitement, sans variation significative. Cette observation concorde avec les résultats d'Abdelazeem et al. (2023), qui ont constaté que l'administration de probiotiques influençait la croissance et la digestion chez les lapins sans affecter le poids du foie. Nos résultats, montrant l'absence de changement significatif dans les poids de ces organes, suggèrent que les traitements utilisés n'ont pas eu d'impact direct sur ces parties du corps, malgré des effets observés sur les poids de carcasse et de graisse.

3. Effets de la Talghouda et le dysfonctionnement thyroïdien sur la qualité de la viande

3.1.1. pH

Les résultats du pH dans la viande des lapins sont illustrés dans le tableau suivant, où l'on peut observer une variation significative des niveaux de pH.

Tableau 21: Résultats concernant les valeurs de pH.

	C	Csup	HyrLevo	HytTal	HytCar	HyrTal
pH Cuisse	6,8±0,62 ^a	5,89±0,13 ^c	6,00±0,01 ^b	6,16±0,02 ^b	5,89±0,02 ^c	6,11±0,17 ^b
pH Avant	6,21±0,12 ^b	5,94±0,03 ^c	6,22±0,07 ^b	6,35±0,07 ^a	6,04±0,07 ^b	6,06±0,07 ^b
pH Râble	6,08±0,32 ^b	5,83±0,06 ^c	6,01±0,05 ^b	5,94±0,18 ^c	5,86±0,14 ^c	5,92±0,08 ^c

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Les valeurs de pH enregistrées variaient de 5,83 dans le groupe Csup à 6,35 dans le groupe HytBun, ce qui indique une variabilité pouvant influencer la tendreté de la viande, sa durée de conservation et les niveaux de stress chez les animaux avant l'abattage. Cette variabilité de l'acidité et ses implications sur la qualité de la viande sont corroborées par Koziol et al. (2015) et Cullere et al. (2018), qui ont noté l'influence du pH sur les caractéristiques sensorielles de la viande.

3.1.2. Matière sèche

Les résultats de la matière sèche dans la viande des lapins sont illustrés dans le tableau suivant, où l'on peut observer une variation significative du taux de matière sèche.

Tableau 22 : Teneur de matière sèche est indiqué pour 100 grammes de viande.

	C	Csup	HyrLevo	HytTal	HytCar	HyrTal
MS % Cuisse	28,06±1,61 ^a	28,73±4,06 ^a	27,13±2,81 ^c	26,8±2,62 ^d	26,06±1,10 ^d	26,2±0,69 ^d
MS % Avant	28,8±1,83 ^a	24,2±7,10 ^f	26,13±11,08 ^d	26,66±3,30 ^d	25±1,05 ^e	27,7±7,36 ^c
MS % Râble	25,2±5,94 ^e	29,33±5,55 ^a	26,6±10,29 ^d	28,86±3,93 ^a	26,93±4,61 ^d	28,8±4,10 ^a

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Le contenu en matière sèche (Ms%) a montré des variations significatives, allant de 24,2 % dans le quartier antérieur du groupe Csup à 29,33 % dans le filet du même groupe. Un pourcentage plus élevé de Ms indique une viande plus maigre, ce qui est souvent perçu comme un indicateur de meilleure qualité nutritionnelle. L'importance de la teneur en matière sèche dans l'évaluation de la qualité de la viande, notamment pour ses effets sur les résultats de cuisson et la valeur nutritionnelle, a été bien documentée dans les études de Hulot et Ouhayoun (1999) ainsi que Bivolarski et al. (2011).

L'écart de matière sèche au sein du groupe Csup, en particulier entre le quartier antérieur et le filet, révèle une variabilité dans la composition de la viande. Cette variation peut avoir un impact direct sur les qualités sensorielles et la texture, influençant potentiellement les préférences des consommateurs. Une viande plus maigre, avec une teneur en matière sèche plus élevée, est souvent associée à une meilleure qualité pour des applications culinaires, mais les préférences peuvent varier selon les habitudes de consommation et les attentes spécifiques des marchés.

3.1.3. Cendres

Les résultats taux de cendre dans la viande des lapins sont illustrés dans le tableau suivant, où l'on peut observer une variation significative du taux de cendre.

Tableau 23: Teneur de cendre indiqué pour 100 grammes de viande

	C	Csup	HyrLevo	HytTal	HytCar	HyrTal
MM % Cuisse	1,27±0,08 ^b	1,30±0,20 ^a	1,22±0,14 ^b	1,21±0,13 ^b	1,17±0,05 ^c	1,18±0,03 ^c
MM % Avant	1,31±0,09 ^a	1,08±0,35 ^d	1,17±0,55 ^c	1,20±0,16 ^b	1,12±0,05 ^c	1,25±0,36 ^b
MM % Râble	1,13±0,29 ^c	1,33±0,27 ^a	1,2±0,51 ^b	1,35±0,12 ^a	1,21±0,23 ^b	1,31±0,20 ^a

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

La teneur en minéraux a montré une variation allant de 1,08 % dans le quartier antérieur du groupe Csup à 1,35 % dans le groupe HytBun, soulignant l'importance des minéraux dans la valeur nutritionnelle de la viande. Bien que cet écart soit relativement modeste, il pourrait,

comme le suggèrent les travaux de Simonová et al. (2010), conférer à la viande du groupe HytBun une supériorité nutritionnelle en raison de sa teneur minérale plus élevée.

Ces résultats, associés aux valeurs de pH, de matière sèche (DM%) et de teneur en minéraux, révèlent de potentielles différences de qualité de la viande entre les groupes. Les groupes HytBun et HyrLevo, en particulier, présentent des caractéristiques distinctes qui pourraient influencer les préférences culinaires et les évaluations nutritionnelles. En effet, des facteurs tels que le pH, la teneur en matière sèche et la teneur en minéraux sont cruciaux pour déterminer la texture, la saveur et la valeur nutritionnelle de la viande, comme le soulignent Ataxodjayeva et al. (2023) dans leur étude sur les préférences des consommateurs et les applications culinaires.

3.1.4. Protéines

Les résultats du taux de protéine dans la viande des lapins sont illustrés dans le tableau suivant, où l'on peut observer une variation significative.

Tableau 24: Teneur en protéines indiquée pour 100 grammes de viande

	C	Csup	HyrLevo	HytTal	HytCar	HyrTal
Protéine % Cuisse	21,55±1,74 ^b	21,71±1,3 ^b	19,33±1,04 ^{a,b}	21,48±1,7 ^b	18,19±0,9 ^e	20,43±0,1 ^c
Protéine % Avant	20,22±0,85 ^c	22,01±0,51 ^a	18,03±0,81 ^{a,b}	20,81±0,8 ^c	19,45±2,8 ^d	19,36±0,11 ^d
Protéine % Râble	21,23±1,7 ^b	21,4±1,04 ^b	19,07±1,3 ^{a,b}	22,26±0,3 ^a	18,09±1,27 ^e	19,41±1,91 ^d

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

L'incorporation de la noix de terre (*Bunium bulbocastanum*) dans le régime alimentaire des lapins semble entraîner une augmentation significative de la teneur en protéines dans les muscles étudiés. Pour le muscle de la cuisse, le taux de protéines varie en fonction du régime et du traitement appliqué. Par exemple, la teneur en protéines dans le groupe témoin était de 21,55 %, tandis qu'elle atteignait 21,71 % dans le groupe Csup, qui recevait une supplémentation en noix de terre. En revanche, le groupe HytCar, où l'hypothyroïdie était induite par le carbimazole, a montré la teneur en protéines la plus faible, à 18,09 %.

Ces résultats suggèrent que certains traitements et états de santé (comme l'hypothyroïdie induite) peuvent avoir un effet dégradant sur la teneur en protéines musculaires. Des études antérieures, comme celle de Wang et al. (2019), ont montré que les aldéhydes α,β -insaturés peuvent induire la carbonylation des protéines musculaires, entraînant ainsi une dégradation des protéines et l'auto-oxydation de la myoglobine. Ce processus de carbonylation pourrait expliquer la réduction des niveaux de protéines dans certains groupes de traitement.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'incorporer la noix de terre *Bunium bulbocastanum*, ou Talghouda) dans l'alimentation des lapins afin d'évaluer ses effets sur la qualité de la viande et le rendement en carcasse. Au terme de cette expérimentation, un régime supplémenté avec 35 % de Talghouda a montré des améliorations significatives de la performance de croissance et de la qualité de la viande. Le taux de mortalité stable à 0 % tout au long de l'étude témoigne de l'homogénéité et de la résilience de cette souche de lapins dans des conditions expérimentales optimales.

Les résultats sur le gain de poids indiquent des variations notables en fonction des traitements appliqués, avec des effets bénéfiques pour le Talghouda, qui semble favoriser la croissance et le développement musculaire. Les observations dans les groupes hyperthyroïdiens et hypothyroïdiens montrent que les modifications de l'activité thyroïdienne influencent directement le gain de poids et les caractéristiques des carcasses, confirmant le rôle de la fonction thyroïdienne dans la régulation de la croissance corporelle et de la composition de la carcasse.

Les analyses du gain moyen quotidien (GMQ) et des paramètres de qualité de la viande, telles que le pH et la teneur en matière sèche, révèlent des différences significatives entre les groupes expérimentaux. Ces résultats suggèrent que les interventions diététiques et hormonales peuvent affecter de manière substantielle la qualité nutritionnelle et la texture de la viande.

Cette étude met en évidence les bénéfices potentiels de l'incorporation de *Bunium bulbocastanum* dans les régimes alimentaires pour l'amélioration de la performance de croissance et de la qualité de la viande en élevage de lapins. Elle souligne l'importance d'une approche intégrée, tenant compte des facteurs nutritionnels et physiologiques, pour optimiser les performances et la qualité en cuniculture. Ces résultats ouvrent également des perspectives pour des recherches futures sur l'amélioration des régimes alimentaires et les stratégies de gestion de la santé animale, visant à accroître la rentabilité et la durabilité de la production cunicole.

**IV. Effet d'un régime enrichi de
noix de terre sur les hormones
thyroïdiennes, créatinine et
l'urée chez les lapins**

Partie

Bibliographique

Introduction

La thyroïde joue un rôle essentiel dans la régulation de différentes fonctions physiologiques. D'après Malbos (2024), les problèmes de thyroïde ont un effet considérable sur la qualité de vie. Différentes maladies peuvent être à l'origine d'une dysthyroïdie. Les maladies de la thyroïde sont les plus fréquentes en endocrinologie. Il est possible que le goitre (augmentation du volume de la thyroïde), qu'il soit diffus ou nodulaire, soit dû à une inflammation, à une tumeur ou à une fonction.

Les réponses immunitaires, la production de métabolites microbiens, l'absorption des nutriments et les changements épigénétiques régulant la synthèse et le métabolisme des hormones thyroïdiennes peuvent avoir un impact sur la fonction thyroïdienne, ce qui peut entraîner le développement de maladies thyroïdiennes ou les prévenir. Selon Shulhiet et al. (2024), une alimentation équilibrée joue un rôle crucial dans le maintien d'une fonction thyroïdienne et d'une santé optimales.

Bien que des traitements médicaux et chirurgicaux existent, les patients privilégient toujours les remèdes naturels, car les antithyroïdiens de synthèse ont plusieurs effets secondaires désagréables. Plusieurs recherches ont été suggérées afin de déterminer l'impact des plantes sur la régulation des hormones thyroïdiennes (Bouhouche et *al.*, 2017). L'étude de Abdul-Aziz et al, 2015 sur la thyroïde et les gonades chez le lapin a démontré que, les légumes crucifères impactent sur les hormones thyroïdiennes, des diminutions des hormones ont été observées sur le niveau du T3 et T4 dans le sérum des lapins. L'activité de la glande thyroïde affecte à son tour l'efficacité des organes masculins et féminins.

Compte tenu de ce qui précède, nous avons cherché à étudier l'effet de l'incorporation du tubercule de noix de terre dans l'alimentation des lapins exposés aux déséquilibres thyroïdiens.

internalisent ensuite la thyroglobuline iodée par endocytose. Par la suite, on obtient les hormones thyroïdiennes en protéolysant la thyroglobuline et en les libérant dans le sang (Darrouzet et al., 2014).

L'oxydation d'I⁻ par la « thyroïde peroxydase » (TPO), une protéine membranaire supérieure avec un domaine catalytique d'hème, nécessite la présence de H₂O₂. La NADPH dual oxydase 2 (Duox2), une protéine membranaire appartenant à la famille des peroxydase thyroïdienne (TPO), est responsable de cette oxydation. Famille NADP(H) (oxydase dépendante de nicotinamide adénine phosphate de la flavine adénine dinucléotide). Le nom de dioxygénase est donné à un domaine exposé à la lumière du follicule pileux, qui ressemble à 45 % à la TPO en acides aminés et possède une activité peroxydase potentielle (Bedard, Lardy et Krause, 2007).

Lorsque la concentration intracellulaire de Ca²⁺ augmente, l'activité de Duox2 augmente également. Les mutations dans les gènes codant pour les protéines DUOX2 et DUOXA2 (facteur de maturation et chaperon DUOX2) sont responsables de l'hypothyroïdie congénitale (CH) (Moreno et al., 2002 ;Zampronie et al., 2008). Comme H₂O₂ joue un rôle essentiel dans la synthèse des hormones, DUOX1, une protéine proche de DUOX2, peut également être régulée de façon positive pour compenser l'échec de DUOX2. Les résidus de thyroglobuline tyrosine sont iodés par la TPO après l'oxydation de l'iode dans le follicule thyroïdien : c'est l'étape d'organisation. Ensuite, un iode est covalentement lié aux résidus de tyrosine de la thyroglobuline pour former la Moniodotyrosine (MIT) et/ou deux iodes sont liés pour former la di-iodotyrosine (DIT). La thyroglobuline est liée à ces intermédiaires d'hormones thyroïdiennes iodées, puis recoupée via TPO via une liaison éther pour former T3 (un résidu d'iode et un résidu d'iode) et T₄ (deux résidus d'iode) (Dedieu et al., 2010).

Le composé glycosylé de 660 kDa de la thyroglobuline contient 123 résidus de tyrosine. Les résidus iodés potentiellement ne représentent qu'un tiers chez la souris, tandis que chez l'homme, il y a en moyenne 5 MIT, 5 DIT, 2,5 T₄ et 0,7 T₃ par canal. On observe une injection d'iode de cette nature sur les sites de production des hormones (Dedieu et al., 2010 ; Braverman et Cooper, 2012). Selon Saber-Lichtenberg et al. (2000), la thyroglobuline iodée établit également des liens avec des microsphères protéiques insolubles et est conservée de manière colloïdale dans la lumière folliculaire.

La thyroglobuline est ajoutée par endocytose ou microcytose dans des conditions basales.

Toutes les étapes de la biosynthèse et de la libération des hormones thyroïdiennes sont stimulées à mesure que les taux sériques de TSH augmentent, y compris l'internalisation de la thyroglobuline par endocytose ou microcytose. Dans les lysosomes, la thyroglobuline intériorisée est clivée par des protéolytes, puis T₃ (20 %) et T₄ (80 %) sont libérés dans le sang (Braverman et Cooper, 2012) grâce aux transporteurs monocarboxylates.

1.3.Régulation de la fonction thyroïdienne par la thyrotropine (TSH)

L'iode joue un rôle essentiel dans la production des hormones thyroïdiennes et est contrôlée par l'hormone stimulante de la thyroïde (TSH). L'hormone thyroïdienne stimulatrice, une glycoprotéine de 30 kDa produite par les cellules basophiles de l'hypophyse antérieure, est un stimulant hormonal et est considérée comme un élément essentiel de la fonction thyroïdienne. La TSH est constituée de deux parties distinctes. Selon Maha Hichri (2018), la sous-unité alpha est similaire aux sous-unités des hormones sécrétées par l'hypophyse (hormone lutéinisante et hormone folliculo-stimulante (LH et FSH)), tandis que la sous-unité bêta lui confère sa différence fonctionnelle.

2. Dysfonctionnement thyroïdien

2.1.Hyperthyroïdie

L'hyperthyroïdie se manifeste par une production excessive d'hormones thyroïdiennes, entraînant une présentation clinique de thyrotoxicose. Cette condition découle principalement d'une hyperactivité primaire de la thyroïde, due à une stimulation accrue du tissu thyroïdien par des anticorps ciblant les récepteurs de la TSH (TRAK) dans le cas de la maladie de Basedow, ou à l'autonomie d'une ou plusieurs zones hyperactives du tissu dans le cadre d'une affection nodulaire (Guibourdencheet *al.*, 2024). L'hyperthyroïdie franche, définie comme une suppression de la thyroestimuline (anciennement hormone stimulant la thyroïde) et une forte concentration de triiodothyronine (T3) et/ou de thyroxine libre (FT4), touche environ 0,2 % à 1,4 % des personnes dans le monde. L'hyperthyroïdie subclinique, définie comme des concentrations faibles de thyroestimuline et des concentrations normales de T3 et de FT4, touche environ 0,7 % à 1,4 % des personnes dans le monde.

L'hyperthyroïdie non traitée peut entraîner des arythmies cardiaques, une insuffisance cardiaque, de l'ostéoporose et des issues défavorables de la grossesse. Elle peut également

provoquer une perte de poids involontaire et est associée à une mortalité accrue (Lee et Pearce 2023).

2.2. Hypothyroïdie

L'hypothyroïdie est due à un manque d'hormones thyroïdiennes, entraînant des symptômes cliniques qui peuvent varier, notamment un goitre qui pourrait nécessiter une échographie. Ce phénomène résulte le plus souvent d'un hypofonctionnement primaire de la thyroïde, causé par une thyroïdite auto-immune ou médicamenteuse, et peut également être lié à une carence en iode. Plus rarement, l'hypothyroïdie peut avoir une origine centrale, associée à une insuffisance hypophysaire (Guibourdenche et al., 2024).

3. Antithyroïdiens de synthèse (Carbimazole)

L'hyperthyroïdie est traitée par des médicaments antithyroïdiens tels que le carbimazole, le Neomercazole, le propylthiouracile, le Proracyl, le Benzylthiouracile et le Basdenel. Leurs effets sont essentiellement de nature temporaire, en entravant la sécrétion d'hormones thyroïdiennes. Les quantités recommandées diffèrent selon la gravité clinique et biologique de l'hyperthyroïdie. Ces médicaments s'activent par inhibition de la thyroperoxydase (TPO). Il convient de souligner que les antithyroïdiens synthétiques (ATS) n'interviennent pas dans la libération des hormones thyroïdiennes déjà fabriquées et stockées dans les vésicules colloïdales (Amaret et al., 2019). L'antithyroïdien le plus couramment prescrit en Algérie est le carbimazole. Selon Shivaneet et al. (2024), il devient un métabolite actif du méthimazole.

4. Hormones thyroïdiennes de synthèses (Levothyrox)

Le Lévothyrox® est un médicament hydrosoluble de la L-Thyroxine (Lévothyroxine) produit par le laboratoire allemand Merck-Serono. C'est une thyroxine de substitution ou T4 (3,5,3',5'-tétraiodothyronine), l'hormone thyroïdienne dominante. Le Lévothyrox est prescrit pour traiter les cas d'insuffisance de sécrétion de la glande thyroïde, communément appelés hypothyroïdies (Picotet et al., 2018).

Partie Expérimentale

Matériels et méthodes

1. Objectif de travail

Il est important de noter que le dosage de TSH, T₃ et T₄ sont souvent utilisés pour évaluer la fonction thyroïdienne. Ces hormones jouent un rôle essentiel dans le métabolisme et le fonctionnement général du corps. Des niveaux anormaux de ces hormones peuvent indiquer des problèmes de thyroïde tels que l'hypothyroïdie ou l'hyperthyroïdie.

Afin de déterminer si le tubercule de noix de terre peut impacter sur les niveaux de ses hormones dans le sang des lapins de souche tête de lion, nous avons provoqué un déséquilibre thyroïdien chez les lapins pour déterminer dans quel cas cette plante agit le mieux et ses effets sur la fonction rénale.

2. Matériel biologique

Afin de compléter l'approche thérapeutique de la plante lors de cette thèse, nous avons notamment entrepris des analyses des souches citées dans l'expérience précédente voir page 78.

➤ Prélèvements sanguins

Des prélèvements de sang ont été effectués en insérant une aiguille dans la veine saphène des lapins. Après prélèvement, les tubes ont été immédiatement transportés au niveau du laboratoire d'analyses médicales Mostaganem. Voir figure 10.

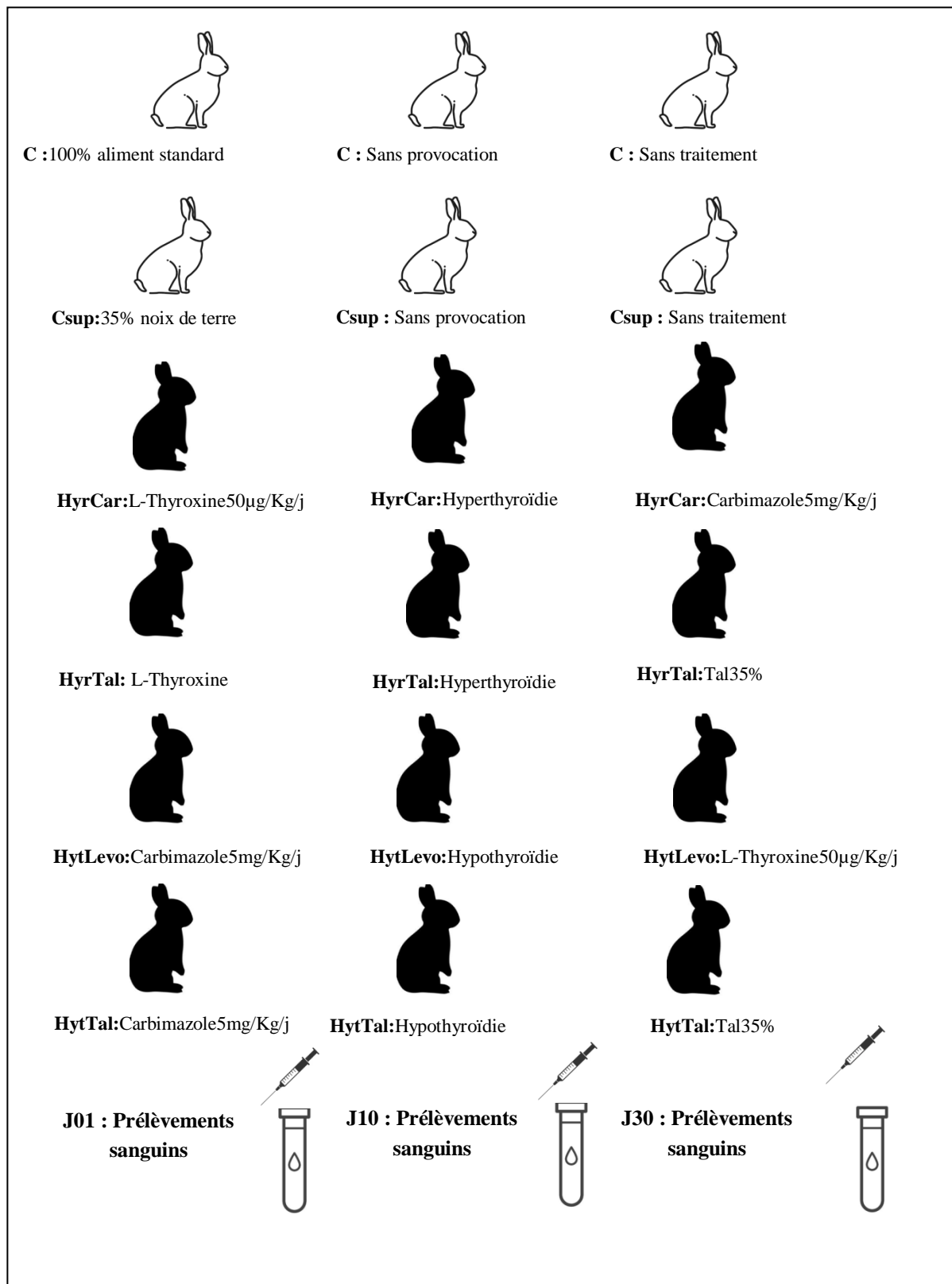


Figure 10: Présentation des lots

3. Méthode

➤ T3, T4 et TSH

Les échantillons de sang ont été prélevés pour mesurer les niveaux de TSH, T3 et T4, qui ont été quantifiés à l'aide de l'Elecsys2010 (Roche Diagnostics/Hitachi, Japon).

➤ CréatinineDiaSys respons®920 automatisé.

Afin d'évaluer la quantité de créatinine dans le sérum des lapins, le plasma collecté a été soumis à un test cinétique sans dépropanisation basé sur la méthode Jaffé. La créatinine se transforme en un complexe coloré rouge orange en présence d'acide picrique et en solution alcaline. La fluctuation de l'absorbance de ce complexe, mesurée à des intervalles spécifiques, est liée à la concentration en créatinine.

Créatinine + Acide picrique —————▶ Complexe créatinine-picrate

➤ Urée DiaSys respons®920 automatisé

Afin d'évaluer la quantité d'urée, le plasma collecté a été examiné à l'aide d'un test UV enzymatique :

« Uréase – GLDH » Uréase Urée + 2 H₂O —————▶ 2 NH₄ + + 2 HCO₃ – GLDH

2-Oxoglutarate + NH₄ + + NADH —————▶ L-Glutamate + NAD⁺ + H₂O

GLDH : Glutamate déshydrogénase

4. Analyse statistique

Les données ont été analysées par ANOVA unidirectionnelle, avec un seuil de signification fixé à $p < 0,05$.

Résultats et discussion

1. Résultats des hormones thyroïdiennes chez les lapins souche tête de lion

Les résultats concernant les niveaux d'hormones dans le sang des lapins de souche tête de lion, suite à une provocation d'un déséquilibre thyroïdien, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ce tableau met en évidence des variations significatives des niveaux d'hormones thyroïdiennes, en particulier la thyroxine (T4), la triiodothyronine (T3) et la TSH (hormone thyroïdienne).

Tableau 25 : Les valeurs des hormones thyroïdiennes dans le sang de la souche de tête de lion.

	Catégorie	C	Csup	HyrLevo	HyrBun	HytCar	HytBun
FT3 (ng/mL)	Dysfonctionnement thyroïdien	4.0 ± 0.2 ^e	4.21 ± 0.2 ^e	9.02 ± 0.23 ^a	7.83 ± 0.4 ^b	4.84 ± 0.21 ^d	3.27 ± 0.23 ^f
	Traitement			3.0 ± 0.24 ^f	5.0 ± 0.4 ^c	2.0 ± 0.24 ⁱ	3.04 ± 0.22 ^f
FT4 (µg/dL)	Dysfonctionnement thyroïdien	16.08 ± 0.2 ^d	17.11 ± 0.19 ^c	25.00 ± 0.2 ^a	23.21 ± 0.39 ^a	18.17 ± 0.16 ^b	14.17 ± 0.11 ^f
	Traitement			15.00 ± 0.2 ^e	18.13 ± 0.25 ^b	12.08 ± 0.23 ⁱ	15.01 ± 0.15 ^e
FSH (mIU/L)	Dysfonctionnement thyroïdien.	0.01 ± 0.001 ^b	0.01 ± 0.001 ^b	0.002 ± 0.0002 ^a	0.002 ± 0.0002 ^a	0.022 ± 0.0002 ^a	0.022 ± 0.0002 ^a
	Traitement			0.01 ± 0.0002 ^b	0.01 ± 0.0002 ^b	0.01 ± 0.0002 ^b	0.01 ± 0.0002 ^b

(n = 5 ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

➤ Niveau de FT3

Les groupes hyperthyroïdiens (HyrLevo et HyrTal) ont présenté des niveaux de FT3 significativement plus élevés par rapport aux groupes témoins (C et Csup). Plus précisément, HyrLevo avait des niveaux de FT3 de 8,71 ± 0,05 ng/mL, et HyrTal de 7,59 ± 0,4 ng/mL, tandis que les groupes témoins avaient des niveaux de 3,89 ± 0,021 ng/mL et 4,02 ± 0,01 ng/mL, respectivement. Après le traitement, les niveaux de FT3 ont été réduits à 2,99 ± 0,01 ng/mL dans HyrLevo et 3,87 ± 0,34 ng/mL dans HyrTal, suggérant l'effet modulateur du Talghouda.

En revanche, les groupes hypothyroïdiens (HytCar et HytTal) ont présenté des niveaux de FT3 significativement plus bas en raison des effets suppressifs du carbimazole, avec des niveaux enregistrés à 2,09 ± 0 ng/mL et 1,92 ± 0,2 ng/mL, respectivement. Le traitement par Talghouda a

partiellement atténué cette suppression, augmentant les niveaux de FT3 à $3,04 \pm 0,03$ ng/mL dans HytTal.

➤ Niveau de FT4

Les groupes hyperthyroïdiens avaient également des niveaux de T4 élevés, HyrLevo présentant $22,7 \pm 0,1$ µg/dL et HyrTal $21,95 \pm 0,5$ µg/dL, par rapport aux niveaux témoins. Le traitement a réduit les niveaux de T4, en particulier dans le groupe HyrTal ($12,06 \pm 0,05$ µg/dL), indiquant que le Talghouda pourrait avoir un effet bénéfique sur la modulation des niveaux d'hormones thyroïdiennes. Les groupes hypothyroïdiens ont montré des tendances similaires, avec HytCar et HytTal initialement présentant des niveaux de T4 élevés, qui ont ensuite été modérés après traitement.

➤ Niveau de TSH

Le Tableau 26 met également en évidence les niveaux de TSH selon différentes conditions expérimentales. Dans les groupes hyperthyroïdiens, les niveaux de TSH étaient significativement réduits pendant la provocation (HyrLevo : $0,001 \pm 0,0004$ mIU/L, HyrTal : $0,001 \pm 0,004$ mIU/L), avec peu de changements substantiels durant la phase de traitement. En revanche, les groupes hypothyroïdiens ont montré des niveaux de TSH élevés (HytCar : $0,02 \pm 0,001$ mIU/L, HytTal : $0,021 \pm 0,001$ mIU/L), ce qui est cohérent avec la relation inverse entre les hormones thyroïdiennes et la TSH. La TSH, produite par l'hypophyse, régule la production de T3 et T4 par la glande thyroïdienne. Les modèles hormonaux observés indiquent une hyperactivité dans les états hyperthyroïdiens et une sous-activité dans les états hypothyroïdiens, renforçant le rôle critique de l'équilibre de ces hormones pour un métabolisme normal.

Des études précédentes (Chmurska-Gąsowska et al. 2021) fournissent une base pour comprendre les mesures non invasives et les mises à jour sur les maladies thyroïdiennes dans des modèles similaires, mettant en évidence des variations significatives des niveaux hormonaux induites par différentes interventions pathologiques ou thérapeutiques. (Mebis et al. 2009) ont observé des changements similaires dans l'axe hypothalamo-hypophyso-thyroïdien pendant les états critiques, ce qui s'aligne avec nos observations dans des modèles hyperthyroïdiens. De plus, les complexités des interactions des hormones thyroïdiennes et l'impact des compléments alimentaires discutés par (BASHA et al. 2023) sont pertinents. De

même (Ayyed Al-Hadidy et Dawood 2021) ont exploré les effets de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* sur la prévention de l'hypothyroïdie expérimentale, établissant des parallèles avec les résultats de notre étude sur le potentiel des compléments alimentaires dans la gestion du dysfonctionnement thyroïdien.

2. Élévation de la créatinine et urée plasmatique

Les résultats concernant les niveaux de créatinine et d'urée dans le sang des lapins de souche tête de lion, suite à une provocation d'un déséquilibre rénal, sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

➤ Créatinine

Les concentrations plasmiqes de créatinine chez les lapins dans chaque lot sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 26: concentration plasmiqie de créatinine (mg/dL) chez les lapins

	Témoin	Csup	HyrCar	HytLevo	HyrTal	HytTal
Créatinine	12,20±0,57 ^{a,b}	12,58±0,98 ^{a,b}	13,24±0,15 ^{a,b}	14,35±0,42 ^a	13,36±1,65 ^{a,b}	10,2±2,25 ^b

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Les résultats montrent que la créatinine de base dans le groupe témoin à $12,20 \pm 0,50$ mg/dL, est conforme aux valeurs normales rapportées dans des études similaires (Özkan et al. 2012). Le groupe témoin supplémenté par le régime alimentaire a montré une légère augmentation des niveaux de créatinine ($12,58 \pm 0,98$ mg/dL), indiquant un impact minimal sur la fonction rénale chez les lapins en bonne santé. Cela s'aligne avec les résultats indiquant que les suppléments alimentaires n'altèrent généralement pas de manière significative les marqueurs rénaux chez les sujets en bonne santé (Solomon et al. 2015).

L'hyperthyroïdie induite par la lévothyroxine a entraîné des niveaux de créatinine significativement élevés ($13,24 \pm 0,15$ mg/dL), reflétant des taux métaboliques accrus affectant

la fonction rénale, similaire aux observations effectuées sur des modèles de lapins diabétiques (Wang et al. 2024). En revanche, le groupe hypothyroïdien induit par le carbimazole a montré des niveaux de créatinine diminués ($11,35 \pm 0,42$ mg/dL), suggérant que des taux métaboliques réduits abaissent les niveaux de créatinine (Javadi et al. 2014).

Le groupe HyrBun avait des niveaux de créatinine similaires ($13,36 \pm 1,65$ mg/dL) à ceux du groupe non traité, indiquant qu'il n'y a pas d'effet contre-productif, tandis que le groupe HytBun a montré des niveaux de créatinine significativement plus bas ($10,20 \pm 2,25$ mg/dL), suggérant son potentiel bénéfique dans la normalisation de la créatinine dans des conditions d'hypothyroïdie (Ismail et al. 2023).

➤ Urée

Les concentrations plasmiqes l'urée chez les lapins dans chaque lot sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 27: Concentration plasmatique de l'urée (mg/dL)

	Témoin	Csup	HyrCar	HytLevo	HyrTal	HytTal
Urée	$0,29 \pm 0^{NS}$	$0,3 \pm 0,035^{NS}$	$0,343 \pm 0,046^{NS}$	$0,353 \pm 0,029^{NS}$	$0,283 \pm 0,058^{NS}$	$0,34 \pm 0,069^{NS}$

(n 5= ± l'écart type), les valeurs en ligne affectées de lettres (a, b, c...) corrompant à des différences significatives

Concernant les niveaux d'urée, le groupe témoin avait des niveaux de base à $0,29 \pm 0,17$ mg/dL. Des niveaux similaires dans le groupe Csups suggèrent qu'il n'y a pas d'impact significatif sur les niveaux d'urée, ce qui est cohérent avec l'influence minimale des composants alimentaires sur l'excrétion d'urée chez des animaux en bonne santé (Duda et al. 2020). Le groupe hyperthyroïdien a montré des niveaux d'urée significativement plus élevés ($0,443 \pm 0,046$ mg/dL), probablement en raison de l'augmentation du métabolisme des protéines, une conséquence courante des conditions d'hyperthyroïdie (Melillo 2007). En revanche, le groupe HypBun a présenté les niveaux d'urée les plus bas ($0,24 \pm 0,069$ mg/dL), indiquant son rôle possible dans l'abaissement de la production d'urée ou l'amélioration de son excrétion, reflétant l'utilité plus large de certains ajustements alimentaires dans des contextes cliniques (El-Nahhal et al., 2020).

Conclusion

Les hormones thyroïdiennes jouent un rôle crucial dans la régulation des processus métaboliques, nos résultats ont révélé des différences significatives dans les niveaux d'hormones thyroïdiennes, notamment la FT3 et la FT4, entre différents groupes expérimentaux, mettant en lumière les effets modulateurs des traitements appliqués tels que le Talghouda. Les résultats indiquent clairement que dans les groupes hyperthyroïdiens, les niveaux de FT3 et de T4 étaient considérablement plus élevés avant traitement, soulignant la dysrégulation hormonale typique de cette condition. Après le traitement avec le Talghouda, une diminution significative de ces niveaux a été observée, suggérant que ce complément pourrait jouer un rôle essentiel dans la régulation des hormones thyroïdiennes excédentaires.

Parallèlement, dans les groupes hypothyroïdiens, bien que les niveaux de FT3 et de T4 aient été initialement bas à cause des effets suppressifs du carbimazole, l'administration de Talghouda a permis d'améliorer partiellement ces niveaux. Ceci renforce l'idée que le Talghouda pourrait servir non seulement de traitement adjuvant dans les cas d'hyperthyroïdie, mais également en tant que moyen potentiellement bénéfique dans la gestion de l'hypothyroïdie.

L'analyse des niveaux de TSH a également révélé des tendances essentielles. La diminution marquée des niveaux de TSH dans les groupes hyperthyroïdiens est conforme aux attentes, tandis que l'élévation de TSH dans les groupes hypothyroïdiens illustre la relation inverse qui existe entre les hormones thyroïdiennes et la TSH. L'interaction de ces hormones souligne l'importance de maintenir un équilibre précieux pour assurer un métabolisme adéquat et prévenir les complications associées aux dysfonctionnements thyroïdiens.

Nos résultats s'inscrivent dans une littérature scientifique plus large qui explore non seulement les variations hormonales induites par des conditions pathologiques, mais évoque aussi les possibilités thérapeutiques des compléments alimentaires. Des études précédentes corroborent l'importance des mesures non invasives et des implications des compléments dans les différentes pathologies thyroïdiennes, et nos données renforcent cette tendance. Il est particulièrement significatif de noter que plusieurs études ont démontré que certains ingrédients alimentaires comme la poudre de *Moringa oleifera* peuvent avoir un impact positif sur la fonctionnalité thyroïdienne, ce qui établit des parallèles avec notre recherche.

Enfin, en ce qui concerne les mesures de la créatinine, nos résultats montrent que l'hyperthyroïdie entraîne une augmentation des niveaux de créatinine, ce qui peut être interprété comme une conséquence d'un métabolisme accru. En revanche, l'hypothyroïdie, avec ses taux métaboliques abaissés, a permis une réduction des niveaux de créatinine, suggérant que les conditions métaboliques influencent directement les marqueurs rénaux. L'absence d'effet néfaste des suppléments alimentaires sur la fonction rénale chez les sujets sains, ainsi que le potentiel de normalisation des niveaux de créatinine dans le cadre d'un traitement pour hypothyroïdie, ouvre des pistes de recherche intéressantes pour des études futures.

Notre étude souligne non seulement l'importance de la régulation hormonale dans le contexte des dysfonctionnements thyroïdiens, mais également le rôle prometteur des traitements à base de plantes comme le Talghouda dans la modulation de ces niveaux hormonaux. Ces résultats renforcent l'idée qu'une approche intégrative, combinant des interventions pharmacologiques et des thérapies complémentaires, pourrait offrir de nouvelles perspectives dans la gestion des troubles thyroïdiens et améliorer la qualité de vie des patients affectés. Des études complémentaires seront nécessaires pour approfondir ces résultats et établir des protocoles de traitement qui maximisent l'efficacité tout en minimisant les effets secondaires.

Discussion générale

Discussion générale

Les résultats relatifs à l'identification et caractérisation des composés bioactifs présents dans le tubercule provenant ont confirmé la richesse du *Bunium bulbocastanum* en polyphénols. Soit 11,65 mg EAG/g dans l'échantillon récolté à Mostaganem. Les variations des concentrations entre les deux échantillons sont attribuées à des facteurs environnementaux et génétiques influençant le métabolisme phénolique (Khlifi et al., 2013). Le taux de polyphénols dans un aliment est le plus influencé par les facteurs environnementaux. Il convient de souligner les éléments climatiques tels que l'exposition au soleil, le niveau de précipitation et le type de sol, ainsi que les facteurs agronomiques tels que la culture sous serre ou en plein champ, la culture biologique, le rendement des fruits par arbre, etc., ainsi que le degré de maturité (Emeraux et Rosella, 2019). Les polyphénols ont un impact significatif sur les caractéristiques gustatives des produits en raison de leurs propriétés antiseptiques, antibactériennes et antifongiques, ainsi que sur la durabilité des produits. Les polyphénols pourraient jouer un rôle dans la prévention de différentes maladies telles que le stress oxydant et le vieillissement cellulaire, les maladies cardiovasculaires ou dégénératives, ainsi que l'ostéoporose. (Sarni-Manchado et Cheynier, 2006).

Par ailleurs, l'échantillon récolté à Relizane avait une concentration de flavonoïdes de 9,42 mg EQ/g. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par Karouche et al. (2020) et comparables à celles obtenues par Chizzola et al. (2014). Ces variations peuvent être expliquées par les conditions environnementales, climatiques, de collecte, ainsi que les facteurs génétiques (Atmani, 2009). Selon Kuhnau et al. (1976), la consommation moyenne de flavonoïdes est estimée à 1 g par jour (160 mg de flavanols, flavones et flavanones ; 170 mg d'anthocyanes ; 200 mg de catéchine et 450 mg de biflavones). Toutefois, ces données diffèrent considérablement selon le pays étudié. Les niveaux et les caractéristiques des flavonoïdes peuvent varier en fonction des habitudes alimentaires. L'apport moyen en flavonoïdes dans la cohorte française « Supplémentations en Vitamines et Minéraux Antioxydants – niveau 2 » a été estimé à environ 500 mg par jour, ce qui représente plus de 40 % des apports quotidiens en polyphénols totaux Morand, C. (2014). En Finlande, on peut consommer plus de 200 mg d'anthocyanes par jour, car les Finlandais sont de grands amateurs de baies. De plus, en Espagne, la consommation quotidienne de catéchines est d'environ 18-31 mg, car les Espagnols consomment une grande quantité de pommes, de raisin et de vin rouge. En Hollande, les Hollandais consomment environ 50 mg de catéchine par jour en raison de

Discussion générale

leur consommation élevée de thé, de chocolat, de pommes et de poires (Emeraux et Rosella, 2019).

Les échantillons de Mostaganem présentait une teneur de 1,30 mg EC/g tandis que ceux de Relizane affichaient 0,69 mg EC/g, ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Ben abbas (2018) pour la même espèce, ce qui pourrait être lié à des variations environnementales, climatiques, génétiques, ainsi qu'aux méthodes de transformation et de stockage (Kumari et al., 2017; Taghizadeh et al., 2018; Manach et al., 2004), les tanins sont sensibles à différentes formes de dégradation (oxydation, lumière...), selon le stade de maturité des fruits, les conditions de culture, le climat, la pédologie ou le stress de prédation. (Ghedadba, N et al., 2015)

L'activité antioxydante des extraits méthanoliques des tubercules de *Bunium bulbocastanum* a été évaluée par la méthode DPPH. L'extrait de Relizane a montré une inhibition de 7,14%, supérieure à celle de Mostaganem (4,90%), ces valeurs d'inhibition sont bien inférieures à celles rapportées par Karouche et al. (2020) (75,407%), suggérant que l'extrait de *Bunium bulbocastanum* présente un pouvoir antioxydant relativement faible.

Nos résultats confirment que l'extrait de *Bunium bulbocastanum* possède des propriétés antimicrobiennes variables en fonction des microorganismes ciblés, mais globalement efficaces, ce qui corrobore les travaux antérieurs de Boussetla et al. (2011) qui avait rapporté un effet antibactérien notable de l'extrait hydro-méthanolique de *B. incrassatum*. L'étude souligne ainsi le potentiel de *Bunium bulbocastanum* en tant que source d'agents antimicrobiens naturels. Le rôle essentiel des flavonoïdes dans la protection des plantes contre les invasions microbiennes est indéniable (EMERAUX, E., & Rosella, 2019)

L'activité antimicrobienne la plus élevée a été enregistrée contre *S. aureus* ATCC 33862. En revanche, l'inhibition contre *C. albicans* ATCC 10231 était de 14,66 mm, suivie par *E. coli* ATCC 25922. Les souches les moins sensibles étaient *K. pneumoniae* ATCC E47 et *P. aeruginosa* ATCC. La raison en est que la paroi cellulaire des bactéries Gram (+) et des bactéries Gram négatifs diffère. Effectivement, quelle que soit la membrane des cellules, les bactéries Gram (-) ont une couche supplémentaire : la membrane externe, composée de phospholipides, de protéines et de lipopolysaccharides, qui est imperméable à la plupart des molécules (Ghedadba, N et al., 2015).

Discussion générale

Ces résultats indiquent que les échantillons de *Bunium bulbocastanum* des deux régions contiennent une variété de métabolites, principalement des acides phénoliques, des flavonoïdes, des stilbènes, et d'autres composés bioactifs. Les différences de profils métaboliques entre les échantillons de Relizane et Mostaganem peuvent être attribuées aux variations environnementales, géographiques et génétiques, ce qui peut influencer le métabolisme secondaire de la plante. L'ensemble de ces composés identifiés présente un intérêt particulier pour les propriétés bioactives potentielles, y compris les activités antioxydantes, antimicrobiennes, et anti-inflammatoires, qui méritent d'être étudiées plus en détail.

Exemples, l'acide nordihydroguaiarétique, un métabolite important connu pour ses propriétés antioxydantes, a été détecté avec un ion pseudomoléculaire à m/z 301,2 en mode négatif, et son ion fragment principal à m/z 122 s'est formé suite à la perte d'un fragment $C_7H_6O_2$ de l'ion parent, correspondant aux résultats de Ražná et al. (2018), le resvératrol, aussi une molécule connue pour ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, a été identifié.

L'acide syringique, un composé phénolique bien connu, a été identifié à m/z 197 en mode négatif. Panda et al. 2021 ont démontré que l'acide syringique, un agoniste des récepteurs des hormones thyroïdiennes β , protégeait les rats contre la toxicité thyroïdienne induite par le PTU (PROPYLEX 50 mg) ; médicament de la famille des antithyroïdiens, il est utilisé en cas d'hyperthyroïdie. En augmentant les niveaux de T4 et de T3, en diminuant les niveaux de TSH, et en améliorant les caractéristiques histologiques des tissus thyroïdiens.

Le 4-éthylphénol, couramment trouvé dans divers extraits de plantes, a été identifié en mode positif avec un ion à m/z 123 et des fragments secondaires à m/z 109 et 95 (del Contreras et Castro, 2020).

La contamination des aliments par des métaux peut être liée à la matière première ou le processus de production ou l'environnement. L'ingestion de métal les produits contaminés constituent un problème de santé publique. Les mycotoxines et les microorganismes constituent la troisième source de danger pour l'alimentation humaine et animale, après celles-ci. Certains éléments métalliques, tels que le Zinc et le Cuivre, sont des oligo-éléments qui deviennent toxiques à des concentrations élevées. De plus, le plomb et le cadmium présentent une toxicité résiduelle (Capo-Chichi et al., 2019)

Discussion générale

Dans les échantillons de racines de *Bunium bulbocastanum*, les résultats montrent que la concentration de Cu était influencée par la région d'origine la valeur maximale enregistrée est de $80,8 \pm 0,02$ mg/kg dans l'échantillon de Relizane. Cette variabilité interrégionale suggère un effet des conditions environnementales sur la bioaccumulation du Cu dans la plante. Par ailleurs, les concentrations en Pb et Hg étaient très faibles, inférieures à $0,01 \pm 0,00$ mg/kg, indiquant une faible translocation de ces métaux aux racines. Ces résultats indiquent que, malgré l'exposition potentielle à des sources environnementales de métaux lourds, *Bunium bulbocastanum* maintient des concentrations en métaux lourds dans des limites sûres pour la consommation humaine, reflétant à la fois l'efficacité des mécanismes de régulation de la plante et l'impact des facteurs environnementaux sur bioaccumulation des métaux. Alimentarius, C. (2015). D'après la même source, le cuivre est perçu comme un contaminant qui n'affecte que la qualité alimentaire des aliments et des aliments animaliers.

Nos résultats révèlent que la farine de noix de terre est composée de 13,01% (eau), 3,38% (matière grasse), 7,27 % (protéine). Ces résultats sont proches aux résultats de Aiouaz et Arezki (2022) 12,41% (eau), 1,59 % (matière grasse), 6,87% (protéine). Selon la bibliographie la farine de noix de terre présente la composition suivante en % : Eau : 15,66 ; Cendres : 5,50 ; Matière azotée : 7,00 ; Matière grasse : 1,34 ; amidon et équivalents : 63,12 ; Cellulose : 6,40 ; Matières non dosées : 0,98. Soit des valeurs proches à la farine de l'orge. Comparativement à la pomme de terre, la talghouda semble moins riche en amidon, mais meilleure en ce qui concerne le taux de matières grasses et de matières azotées (Adoui et al., 2022).

Les teneurs en eau présentent des disparités importantes selon les régions géographiques et les années de récolte. Nos résultats ressemblent à ceux obtenus par Aiouaz et al. (2021). Dans les farines de noix de terre collectées à Khenchla, les valeurs d'Aw sont légèrement plus élevées que dans les autres échantillons, avec des variations significatives entre les régions et les années de récolte ($p < 0,05$). Les valeurs d'Aw des noix de terre collectées à Khenchla et à Tissemsilet N sont respectivement de 0,48 et 0,35.

L'échantillon de Tissemsilet N-1 affiche une teneur en protéines plus élevée par rapport aux autres échantillons de farine, avec 7,27. Des différences significatives ont été observées entre les zones et les années de récolte ($p < 0,05$), et nos résultats sont cohérents avec ceux de Aiouaz et al. (2021) et Dugast (1894). Avec une teneur en protéines brutes d'environ 7 %, la farine de noix de terre présente une valeur inférieure à celle du tubercule de *Dioscorea dumetorum* (Ignome), qui contient 10 % de protéines, cette dernière étant la plus riche en

Discussion générale

protéines parmi les racines et tubercules alimentaires (Agbor-Egbe&Trèche, 1995). À titre de comparaison, la teneur en matière azotée chez les genres *Terfezia* et *Tirmania* varie de 3,3 à 7,9 % de matière sèche (In Khabar, 2002), tandis que la patate douce affiche une teneur en protéines de 2,4 à 2,9 % (Ndangui, 2015), et la farine de patate douce varie généralement entre 1,0 et 8,5 % (Van Hal, 2000). Il est intéressant de noter que selon Colas (1997), la panification est impossible lorsque la teneur en protéines des farines est inférieure à 7 %.

La période et la région de récolte ont un impact significatif ($p < 0,05$) sur la teneur en matières grasses des échantillons de farine de noix de terre. Comparativement, *Dioscorea Dumetorum* présente une très faible teneur en lipides (0,3 g/100 g), ce qui est similaire aux autres tubercules alimentaires tels que la patate (0,4 % - Bradbury, 1988), le taro (0,2 % Agbor-Egbe et Rickard, 1990), et le manioc (0,3 % - Rickard et Coursey, 1981). De plus, la patate douce contient peu de lipides, avec des valeurs variantes entre 0,3 % et 0,8 % (Ndangui, 2015).

La farine de noix de terre se caractérise par un faible indice de chute, représentant l'activité amylasique, avec des valeurs allant à 169,2 comparés à une valeur théorique de 320 secondes pour la farine de blé tendre (Bouhadi *et al.*, 2020). Les variations de clarté peuvent être attribuées aux conditions de conservation ou au traitement avant la mouture, ce qui est conforme aux travaux de Jangchud *et al.* (2003), qui ont observé une diminution de L^* après le blanchiment de deux variétés de patates douces.

Nos résultats montrent que les caractéristiques physico-chimiques des farines varient en fonction des taux de substitution de farine de noix de terre, qui oscillent entre 1 % et 50 %. L'augmentation du taux de substitution de la farine de noix de terre a eu un impact significatif sur plusieurs paramètres, tels que la teneur en cendres (0,51 % à 0,85 %), le taux de matières grasses (3,39 % à 2,59 %), l'humidité (14,63 % à 12,58 %), l'indice de chute (251,2 s à 202,6 s), et l'amidon endommagé (20,16 % à 9,95 %). En effet, les valeurs d'humidité observées se situent entre 12,60 % et 14,70 %, ce qui correspond également aux données rapportées par Souci *et al.* (1994).

Sur le plant rhéologique, nos résultats indiquent que l'incorporation de la farine de noix de terre dans les farines composées a un effet négatif sur l'énergie W , l'indice de gonflement, ainsi que sur le rapport P/L de la pâte. Une diminution de la force boulangère (W) de la farine mixte a été constatée, en particulier à des taux de substitution égaux ou supérieurs à 10 %. Cette diminution de la force boulangère peut être due à la réduction du taux de gluten dans la

Discussion générale

farine mixte après mélange avec une farine sans gluten. Malgré la baisse de la force boulangère, les valeurs obtenues pour les farines composées restent conformes aux normes de panification algériennes, qui exigent une force boulangère (W) comprise entre 130 et 180.

Pour les utilisateurs de la noix de terre pour le traitement, 50% des interrogés utilisent la noix de terre vendue au para marché, 31,82% utilisent la noix de terre présente sur les champs (dans la nature). 42,71% des interrogés ont déjà utilisé ou un de leur proche a déjà utilisé la plante pour le traitement, et ce dans le cas d'allergie, allergie respiratoire, le goitre, la prise de poids, problème de la thyroïde a des fréquences variables allant d'une fois par semaine a deux fois par mois.

La forme des remèdes à base de noix de terre utilisée selon les interrogés varie, parmi les utilisateurs certains ont pris la poudre du tubercule avec du lait, d'autre avec le yaourt, d'autre ont consommé le tubercule cuit à la vapeur ou la poudre avec du miel, au grillé 'Eldjmer'.

L'étude d'incorporation du tubercule dans l'alimentation des lapins a maintenu un taux de mortalité de 0 % tout au long de la période de reproduction, ce qui témoigne de la qualité des conditions expérimentales et de leur adéquation avec la souche de lapins Tête de Lion (Lionhead), reconnue pour sa robustesse et son faible taux de mortalité (Gayard et *al.*, 2023).

Des variations significatives des poids corporel et musculaire ont été observées en réponse à la modulation de l'état thyroïdien et à la supplémentation en noix de terre (*Bunium bulbocastanum*). Les poids des carcasses éviscérées étaient nettement plus élevés dans les groupes hyperthyroïdiens et hypothyroïdiens traités avec par rapport au groupe témoin. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures, comme celle de Gómez-Salazar et al. (2018), qui ont montré que les facteurs génétiques influencent de manière significative les caractéristiques des carcasses chez les lapins. Par ailleurs, une réduction significative de la graisse périrénale a été observée dans le groupe HyrLevo ($1,2 \pm 0,1$ kg) par rapport au groupe témoin ($1,743 \pm 0,4$ kg). Ce résultat s'aligne avec les travaux de Dabbou et al. (2017) et de Yildiz et Gulay (2024).

L'incorporation de la noix de terre dans le régime alimentaire des lapins semble entraîner une augmentation significative de la teneur en protéines dans les muscles étudiés. La teneur en protéines dans le groupe témoin était de 21,55 %, tandis qu'elle atteignait 21,71 % dans le groupe Csup. Selon Dalle Zotte, 2010 la viande du lapin possède d'excellentes propriétés

Discussion générale

alimentaires diététiques avec une teneur protéique de 22,4 % et 1,8 g/100g de lipides dans le filet.

Nos résultats ont révélé des différences significatives dans les niveaux d'hormones thyroïdiennes, notamment la FT3 et la FT4, entre différents groupes expérimentaux, mettant en lumière les effets modulateurs des traitements appliqués tels que le Talghouda, carbimazole, Levotyrox.

Les groupes hyperthyroïdiens (HyrLevo et HyrTal) ont présenté des niveaux de FT3 significativement plus élevés par rapport aux groupes témoins (C et Csup). Plus précisément, HyrLevo avait des niveaux de FT3 de $8,71 \pm 0,05$ ng/mL, et HyrTal de $7,59 \pm 0,4$ ng/mL, tandis que les groupes témoins avaient des niveaux de $3,89 \pm 0,021$ ng/mL et $4,02 \pm 0,01$ ng/mL, respectivement. Après le traitement, les niveaux de FT3 ont été réduits à $2,99 \pm 0,01$ ng/mL dans HyrLevo et $3,87 \pm 0,34$ ng/mL dans HyrTal, suggérant l'effet modulateur du Talghouda.

En revanche, les groupes hypothyroïdiens (HytCar et HytTal) ont présenté des niveaux de FT3 significativement plus bas en raison des effets suppressifs du carbimazole, avec des niveaux enregistrés à $2,09 \pm 0$ ng/mL et $1,92 \pm 0,2$ ng/mL, respectivement. Expliqué par l'effet de l'inhibition de la thyroperoxydase (TPO). Il est important de noter que les antithyroïdiens de synthèse (ATS) ne stoppent pas la libération des hormones thyroïdiennes déjà produites et stockées dans les vésicules colloïdales (Amar et *al.*, 2019).

Le traitement par Talghouda a partiellement atténué cette suppression, augmentant les niveaux de FT3 à $3,04 \pm 0,03$ ng/mL dans HytTal.

Les groupes hyperthyroïdiens avaient également des niveaux de T4 élevés, HyrLevo présentant $22,7 \pm 0,1$ µg/dL et HyrTal $21,95 \pm 0,5$ µg/dL, par rapport aux niveaux témoins. Le traitement a réduit les niveaux de T4, en particulier dans le groupe HyrTal ($12,06 \pm 0,05$ µg/dL), indiquant que le Talghouda pourrait avoir un effet bénéfique sur la modulation des niveaux d'hormones thyroïdiennes. Les groupes hypothyroïdiens ont montré des tendances similaires, avec HytCar et HytTal initialement présentant des niveaux de T4 élevés, qui ont ensuite été modérés après traitement.

Dans les groupes hyperthyroïdiens, les niveaux de TSH étaient significativement réduits pendant la provocation (HyrLevo : $0,001 \pm 0,0004$ mIU/L, HyrTal : $0,001 \pm 0,004$ mIU/L), avec peu de changements substantiels durant la phase de traitement. En revanche, les groupes

Discussion générale

hypothyroïdiens ont montré des niveaux de TSH élevés (HytCar : $0,02 \pm 0,001$ mIU/L, HytTal : $0,021 \pm 0,001$ mIU/L), ce qui est cohérent avec la relation inverse entre les hormones thyroïdiennes et la TSH. La TSH, produite par l'hypophyse, régule la production de T3 et T4 par la glande thyroïdienne. Les modèles hormonaux observés indiquent une hyperactivité dans les états hyperthyroïdiens et une sous-activité dans les états hypothyroïdiens, renforçant le rôle critique de l'équilibre de ces hormones pour un métabolisme normal.

Mebis et al. (2009) ont observé des changements similaires dans l'axe hypothalamo-hypophyso-thyroïdien pendant les états critiques, ce qui s'aligne avec nos observations dans des modèles hyperthyroïdiens. De plus, les complexités des interactions des hormones thyroïdiennes et l'impact des compléments alimentaires discutés par (BASHA et al. 2023) sont pertinents. De même (Ayyed Al-Hadidy et Dawood 2021) ont exploré les effets de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* sur la prévention de l'hypothyroïdie expérimentale, établissant des parallèles avec les résultats de notre étude sur le potentiel des compléments alimentaires dans la gestion du dysfonctionnement thyroïdien.

Le groupe témoin supplémenté par le régime alimentaire a montré une légère augmentation des niveaux de créatinine ($12,58 \pm 0,98$ mg/dL), indiquant un impact minimal sur la fonction rénale chez les lapins en bonne santé. Cela s'aligne avec les résultats indiquant que les suppléments alimentaires n'altèrent généralement pas de manière significative les marqueurs rénaux chez les sujets en bonne santé (Solomon et al., 2015).

L'hyperthyroïdie induite par la lévothyroxine a entraîné des niveaux de créatinine significativement élevés ($13,24 \pm 0,15$ mg/dL), reflétant des taux métaboliques accrus affectant la fonction rénale, similaire aux observations effectuées sur des modèles de lapins diabétiques (Wang et al. 2024). En revanche, le groupe hypothyroïdien induit par le carbimazole a montré des niveaux de créatinine diminués ($11,35 \pm 0,42$ mg/dL), suggérant que des taux métaboliques réduits abaissent les niveaux de créatinine (Javadi et al., 2014).

Le groupe HyrBun avait des niveaux de créatinine similaires ($13,36 \pm 1,65$ mg/dL) à ceux du groupe non traité, indiquant qu'il n'y a pas d'effet contre-productif, tandis que le groupe HytBun a montré des niveaux de créatinine significativement plus bas ($10,20 \pm 2,25$ mg/dL), suggérant son potentiel bénéfique dans la normalisation de la créatinine dans des conditions d'hypothyroïdie (Ismail et al., 2023).

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre de la recherche de nouveaux composés bioactifs pour prévenir et le traiter les maladies. Les chercheurs ciblent plusieurs extraits de plantes, en particulier celui de *B.bulbocastanum*, qui soulèvent un intérêt croissant pour leur potentiel antioxydant et antibactérien, en analysant la qualité de l'extrait du tubercule de *B.bulbocastanum*, nous avons constaté une importante concentration de polyphénols et de flavonoïdes ; les concentrations de polyphénols totaux ont atteint 11,65 mg EAG/g. L'évaluation de l'activité antioxydante à par DPPH a montré une inhibition de 7,14 %. Ces résultats suggèrent que la bioaccessibilité et les interactions synergiques entre les différents composés bioactifs pourraient être critiques pour optimiser l'efficacité antioxydante de *B.bulbocastanum*. Sur le plan antimicrobien, l'extrait brut a présenté une inhibition notable de 20 mm contre *Staphylococcus aureus*, indiquant une efficacité contre les bactéries Gram-positives, alors que les souches de *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa* ont montré une résistance accrue.

Les résultats de notre enquête auprès des utilisateurs de la noix de terre suggèrent l'existence d'un lien potentiel entre l'utilisation du tubercule et des bienfaits thérapeutiques, notamment dans le traitement de certaines pathologies telles que les allergies et les dysfonctionnements thyroïdiens.

Les hormones thyroïdiennes nécessaires à la régulation du métabolisme ont montré des changements significatifs, notamment des différences dans les taux de FT3 et de FT4 entre les groupes hyperthyroïdiens et hypothyroïdiens après un traitement par les tubercules de *B.Bulbocastanum*. Dans le groupe hyperthyroïdien, les taux de FT3 et de FT4 étaient élevés avant le traitement et diminuaient de manière significative après le traitement, ce qui suggère que Talghouda pourrait aider à réguler l'excès d'hormones thyroïdiennes. Pour le groupe hypothyroïdien, Talghouda a montré un potentiel d'amélioration significative, même si les taux de FT3 et de FT4 étaient initialement faibles en raison de l'effet du carbimazole. Ces résultats s'intègrent dans une littérature plus vaste qui examine les rôles thérapeutiques des compléments alimentaires dans les troubles thyroïdiens, avec des études antérieures montrant l'impact positif de certains ingrédients alimentaires, comme le *Moringa oleifera*, sur la fonction thyroïdienne.

Concernant la créatinine, les recherches montrent que l'hyperthyroïdie est associée à des taux de créatinine élevés, indiquant une augmentation du métabolisme, tandis que l'hypothyroïdie entraîne une baisse des taux de créatinine. Ces suppléments n'ont eu aucun effet négatif sur la

Conclusion générale

fonction rénale chez les sujets sains et ont le potentiel de normaliser les taux de créatinine chez les patients souffrant d'hypothyroïdie, soulevant des questions pour les recherches futures. Cette étude met donc en évidence l'importance de la régulation hormonale dans le dysfonctionnement thyroïdien et la promesse des thérapies botaniques telles que Talghouda. L'intégration de médicaments et de thérapies complémentaires peut améliorer le traitement des maladies thyroïdiennes et la qualité de vie des patients. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour étendre ces résultats et établir des options de traitement optimales.

Nos résultats révèlent que la farine de noix de terre est composée de 13,01% (eau), 3,38% (matière grasse), 7,27 % (protéine). Ces résultats sont proches aux résultats d'Aiouaz et Arezki (2022) 12.41% (eau), 1.59 % (matière grasse), 6.87% (protéine) avec des disparités selon les régions géographiques et les années de récolte. La valorisation des farines du tubercule en question et leur incorporation dans des formulations alimentaires témoignent de l'importance de diversifier les sources de nutrition, et d'explorer les possibles gains pour le secteur de la panification, mais aussi pour la santé des populations, notamment dans le cadre de la médecine traditionnelle. En outre, l'amélioration des performances de croissance des lapins et l'équilibre hormonal apporté par l'intégration de ces tubercules dans leur régime alimentaire ouvrent la voie à des pratiques d'élevage plus durables et économiques. La concentration des métaux lourds dans les tubercules du *B.bulbocastanum* montre des niveaux inférieurs aux seuils de sécurité. Cela suggère que malgré les risques environnementaux, cette plante pourrait constituer une option alimentaire sûre.

Il est donc primordiale de renforcer la recherche sur le tubercule de *B.bulbocastanum* pour mieux comprendre son mécanisme d'action, évaluer son impact sur d'autres espèces et garantir sa sécurité et son efficacité à long terme. Ces efforts contribueront non seulement à mettre en œuvre des solutions innovantes dans les secteurs de la santé et de l'alimentation, mais contribueront également à conserver et à valoriser les ressources phytogénétiques locales. Enfin, cette plante comestible et médicinale issue de la tradition algérienne pourrait jouer un rôle clé dans la recherche contemporaine sur les guérisons naturelles et les pratiques agricoles durables.

Références bibliographiques

1. Abdelazeem, A. S., A. M. Fayed, M. M. Basyony, S. H. Abu Hafsa and A. E. Mahmoud (2023). "Hematology profile, digestive enzymes, thyroid hormones, productivity, and nitrogen balance of growing male rabbits supplemented with exogenous dietary lysozyme." *Animal Biotechnology*: 1-10
2. Abdul-Aziz, A., & Kadhim, K. K. (2015). Efficacy of the cruciferous vegetable on the thyroid gland and the gonads in rabbits.
3. ABLETT, S., ATTENBUROW, G. E., and LILLFORD P. J. (1986). The significance of water in the baking process. Pages 30-41 in: *Chemistry and Physics of Baking*. J. M. V. Blanshard, P. J. Frazier, and T. Galliard, eds. Royal Society of Chemistry, Burlington House, London
4. Adaouri, M., Bouguera, A., Tazka, H., & Daoudi, N. Z. (2023). Effet de l'incorporation de foin de luzerne local ou de foin combiné avec de la paille de blé dans l'alimentation du lapin en croissance (Algérie). *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 76, 1-6.
5. Adeosun, T. and G. Iyeghe-Erakpotobor (2014). "Relationship between feed intake, weight gain, nutrient intake and digestibility of rabbits fed graded levels of sugarcane peel diets." *Journal of Animal Production Research*26(1).
6. Adoui, N., Bendif, H., Benabdallah, A., Souilah, N., Daoud, N., & Miara, M. D. (2022). Ethnomedicinal uses, phytochemistry and biological activities of Talghouda (*Buniumfontanesii* Batt. and related synonyms): a review. *Journal of EcoAgriTourism*, 18(1).
7. Adoui, N., Bendif, H., Benabdallah, A., Souilah, N., Daoud, N., & Miara, M. D. (2022). Ethnomedicinal uses, phytochemistry and biological activities of Talghouda (*Bunium fontanesii* Batt. and related synonyms): a review. *Journal of EcoAgriTourism*, 18(1).
8. AFNOR NF ISO 10-390 norme de détermination du pH spécifie une méthode instrumentale de mesurage de routine du pH à l'aide d'une électrode.
9. AFNOR, 1985(Association Française de Normalisation). *Aliments des animaux, méthode d'analyse française et communautaire*, 2ème édition, 200p.
10. Agbor-Egbe, T., Rickard. (1990) Evaluation of the Chemical Composition of Camerooniamynggermplasm. *Journal Of food Composition and Analysis*.8.274.

Références bibliographiques

11. Ahmad, H., Khan, I., & Nisar, W. (2014). Antioxidation and antiglycation properties of Buniumbulbocastanum fruits various fractions and its possible role in reducing diabetes complication and ageing. *Vitam Miner*, 3(118), 2.
12. AIOUAZ, M. (2021). Composition nutritionnelle de «*Bunium incrassatum*»: effets sur le poids corporel et sur la glande thyroïdienne chez les rats (Doctoral dissertation).
13. Aiouaz, M., & Bitam, A. (2022). Bunium incrassatum Bois. Batt. Trab.(Talghouda) in the improvement of thyroid tissue damages in female rats. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical Science*, 2(2), 92-108.
14. Aiouaz, M., & Bitam, A. (2022). Bunium incrassatum Bois. Batt. Trab.(Talghouda) in the improvement of thyroid tissue damages in female rats. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical Science*, 2(2), 92-108.
15. Aiouaz, M., & Bitam, A. (2022). Buniumincrassatum Bois. Batt. Trab.(Talghouda) in the improvement of thyroid tissue damages in female rats. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical Science*, 2(2), 92-108.
16. Alimentarius, C. (2015). Norme générale pour les contaminants et les toxines présents dans les produits de consommation humaine et animale.
17. Al-Masoudi, E. A., Alwan, N. A., & Kudayer, A. M. (2021). Creatine supplementation effects on weight and reproductive performances in adult male rabbits. *Basrah journal of veterinary research*, 20(1).
18. Alongi, M., & Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal of functional foods*, 81, 104466.
19. AL-Saeed, M. H., & Aanas, A. (2017). Evaluation of the protective role of seeds oil of linumusatissimum on oxidative stress of physiological parameters and some aspect of heart tissue in hyperthyroidism female rabbits. *Life Science Archives (LSA)*, 3(2), 1035-1049.
20. Amar, L., Castinetti, F., Chabbert-Bufferet, N., Chabre, O., Chanson, P., Christin-Maitre, S., ... & Caron, P. (2019). *Endocrinologie, diabétologie et maladies métaboliques: Réussir les ECNi*. Elsevier Health Sciences.
21. Anastasiou, K., Baker, P., Hadjidakou, M., Hendrie, G. A., & Lawrence, M. (2022). A conceptual framework for understanding the environmental impacts of ultra-processed foods and implications for sustainable food systems. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133155.

Références bibliographiques

22. Anderson, W. R. (1982). An integrated system of classification of flowering plants.
23. Atmani, D. et al. Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chem.* 112(2), 303–309 (2009).
24. Autio, K., & Laurikainen, T. (1997). Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. *Trends in Food Science & Technology*, 6(8), 181-185.
25. Ayyed Al–Hadidy, A. A. and S. T. Dawood (2021). "The Effect of Moringa oleifera Leaves Powder on Some Hormones to Prevent the Development of Experimental Hypothyroidism in Rabbits." *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology* **15**(3).
26. B e r t h e l o t J. (1990). La panification des céréales tropicales : mise au point de recettes de brioche à dominance de maïs ou de mil aisément transférables en Afrique noire. Rapport de fin de programme. Paris : Ministère de la coopération et du développement, 64 p.
27. Baldet, P., Colas, F. (2012). Utiliser la Mesure de l'Activité de l'Eau pour Mieux Conserver les Semences Forestières : une Coopération Fructueuse entre Irstea et la Direction de la Recherche Forestière au Québec. *Sciences Eaux & Territoires - Cahier Spécial*.
28. Balla, A., Blecker, C., Oumarou, M., Paquot, M., & Deroanne, C. (1999). Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale.
29. Barefoot, S. F. & Klaenhammer, T. R. Detection and activity of lactacin B, a bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45(6), 1808–1815 (1983).
30. Basha, s. K., I. V. Reddy, a. Sivakumar, d. S. Babu, b. Naik, g. B. Reddy and m. K. Chakravarthi (2023). "effect of supplementation of feed additives on haematology and thyroid hormones in new zealand white rabbits." *indian journal of animal production and management* **37**(3): 233-237.
31. Bekhti, M. (2024). *Valorisation et traitement de la peau de lapin domestique en Algérie* (Doctoral dissertation, university of Tlemcen).
32. BEN ABBAS Sonia, D. Z. (2018). Etude de l'activité antioxydante des extraits aqueux et organiques des tubercules de *Bunium incrassatum* (Doctoral dissertation).
33. Bessagnet, F., Suteau, V., & Desmoulière, A. (2023). La glande thyroïde. *Actualités Pharmaceutiques*, 62(631), 53-56.

Références bibliographiques

34. Boros, B., Jakabová, S., Dörnyei, Á., Horváth, G., Pluhár, Z., Kilár, F., & Felinger, A. (2010). Determination of polyphenolic compounds by liquid chromatography–mass spectrometry in *Thymus* species. *Journal of Chromatography A*, 1217(51), 7972–7980.
35. Bouhadi, D., Ibri, K., Hariri, A., Benattouche, Z., & Belkhodja, H. (2020). Effet de l'ajout de la farine de malt sur les caractéristiques fonctionnelles et technologiques de la farine de blé tendre. *Nature & Technology/Nature & Technologie*, (23).
36. Bouhalla, A. W., Benabdelmoumene, D., Dahmouni, S., Bengharbi, Z., Hellal, K., Qadi, W. S., ... & Mediani, A. (2024). Comparative LC–MS-based metabolite profiling, antioxidant, and antibacterial properties of *Bunium bulbocastanum* tubers from two regions in Algeria. *Scientific Reports*, 14(1), 21719.
37. Bouhouche, I., Ayoun, N., & Abed, S. (2017). Pharmacologie expérimentale de l'activité Thyroïdienne Effet du pissenlit et de la mélisse sur les troubles thyroïdiens induits.
38. Bousetla, A., Zellagui, A., Derouiche, K. & Rhouati, S. Chemical constituents of the roots of Algerian *Bunium incrassatum* and evaluation of its antimicrobial activity. *Arab. J. Chem.* 8(3), 313–316 (2015).
39. BOUYAHYA, A. (2016). Alicaments: des aliments aux médicaments, quel apport pour la santé?. *Annales des Sciences de la Santé*, 1(4), 1-3.
40. BOUYAHYA, A. (2016). Alicaments: des aliments aux médicaments, quel apport pour la santé?. *Annales des Sciences de la Santé*, 1(4), 1-3.
41. Bradbury, J., Howard & Holloway, Warren D.(1988). "Chemistry of Tropical Root Crops: Significance for Nutrition and Agriculture in the Pacific," Monographs, Australian Centre for International Agricultural Research, number 118050.
42. Brochoire, G. (2003). Le pain et le sel, un enjeu de santé publique. *NAFAS*, 1(1).
43. Bruneton J, Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2ème édition. Édition Tec et Doc .Paris, France. 1993.
44. Cabanes, A. (1996). Rabbit meat: factors liable to influence organoleptic qualities and associated characters. *Viandes et Produits Carnes (France)*, 17(1).
45. Cakilcioglu, U., Khatun, S., Turkoglu, I., & Hayta, S. (2011). Ethnopharmacological survey of medicinal plants in Maden (Elazig-Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 137(1), 469-486.

Références bibliographiques

46. Calvel, R. (1990). Le goût du pain: comment le préserver, comment le retrouver. (No Title).
47. Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M. & Chern, J. C. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J. food drug Anal.* 10(3) (2002).
48. Chargelegue, A., Guinet, R., Neyreneuf, O., Onno, B., & Pointreud, B. (1994). La fermentation. *La panification française*, 528, 283-325.
49. Chentouh, S., Boulahbel, S., Adjaj, F., Tolba, M., Alloua, N., Moumen, Y., & Bentayeb, Y. (2018). Effets des extraits organiques de *Bunium incrassatum* sur quelques paramètres hématologiques chez les lapines de population la race locale. *Revue des bio ressources*, 8(2), 9-9.
50. Chentouh, S., S. Boulahbel, A. Ouldjaoui, N. Hammoudi, H. Djebaili and F. Adjaj (2017). "Effect of organic extracts of *Bunium incrassatum* on the hematological, ovarian and uterine parameters of mature female rabbit." *Journal of Fundamental and Applied Sciences*9(3): 1618-1633.
51. Chizzola, R., Saeidnejad, A. H., Azizi, M., Oroojalian, F. & Mardani, H. *Bunium persicum*: Variability in essential oil and antioxidants activity of fruits from different Iranian wild populations. *Genet. Resour. Crop Evol.* 61, 1621–1631 (2014).
52. Chmurska-Gąsowska, M., N. Sowińska, S. Pałka, M. Kmiecik, J. Lenarczyk-Knapik and Ł. Migdał (2021). "Non-invasive measurement of thyroid hormones in domestic rabbits." *Animals*11(5): 1194.
53. Colas, A. (1998). Définition de la Qualité des Farines pour Différentes Utilisations In : *Les Industries de Première Transformation des Céréales*. Tec et Doc. Lavoisier.p. 679 .
54. Combes, S. (2004). Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *INRAE Productions Animales*, 17(5), 373-383.
55. D e f l o orI. (1995). Factorsgoverning the bre a d m a k i n g potential of Cassava (*Manihot esculenta*Crantz) flour .Ph.D. thesisUniversity of K.U. Leuven, Leuven,Belgium, 155 p.
56. Dabbou, S., F. Gai, M. Renna, L. Rotolo, S. Dabbou, C. Lussiana, A. Kovitvadhi, A. Brugiapaglia, M. De Marco and A. N. Helal (2017). "Inclusion of bilberry pomace in

Références bibliographiques

- rabbit diets: Effects on carcass characteristics and meat quality." *Meat science*124: 77-83.
57. Dal Bosco, A., Castellini, C., Bianchi, L., & Mugnai, C. (2004). Effect of dietary α -linolenic acid and vitamin E on the fatty acid composition, storage stability and sensory traits of rabbit meat. *Meat science*, 66(2), 407-413.
58. Dalle Zotte, A. (2014). Rabbit farming for meat purposes. *Animal Frontiers*, 4(4), 62-6
59. Del Contreras, M. & Castro, E. Extraction Strategies to Recover Bioactive Compounds, Incorporation into Food and Health Benefits (MDPI, 2020).
60. Deltoro, J., Lopez, A. M., & Blasco, A. (1984). Alometrías de los principales componentes corporales, tejidos y medidas de la canal en conejo. I. In *Proceedings of the 3rd World Congress of Cuniculture, Rome* (pp. 570-577).
61. Dendy DAV., Clarke PA., James AW. (1973). The use of blends of wheat and non wheat flours in breadmaking. In *Composite Flour Program*. Rome: Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations, p. 13.
62. Deng, Y., Nie, Q., Zhou, Y., Wang, W., Wu, Z., Ji, L., ... & Zhou, D. (2024). Research progress in processing technology of rabbit meat. *Food Bioengineering*.
63. DIALLO, H., SOW, T. A. R., & BILIVOGUI, P. (2024). Effets de la farine des larves de la mouche domestique (*Musca domestica*) sur la croissance des lapins en engraissement à Dalaba en Guinée. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique (Revue-IRS)*, 2(4), 2210-2219.
64. Duda, Y., M. Prus, R. Shevchik, L. Koreyba, R. Mylostyvyi and V. Samoiliuk (2020). "Seasonal influence on biochemical blood parameters in males of Californian rabbit breed." *Ukrainian Journal of Ecology*10(4): 262-268.
65. Dugast. (1894). Analyse de la Farine de Talghouda. Bulletin de la Station Agronomique d'Alger. in *Potager d'un Curieux* (1899).
66. Dumortier, G., Grossiord, J. L., Zuber, M., Couarraze, G., & Chaumeil, J. C. (1991). Rheological study of a thermoreversible morphine gel. *Drug development and industrial pharmacy*, 17(9), 1255-1265.
67. El-Nahhal, Y., R. Lubbad and M. R. Al-Agha (2020). "Toxicity evaluation of chlorpyrifos and diuron below maximum residue limits in rabbits." *Toxicology and Environmental Health Sciences*12: 177-190.

Références bibliographiques

68. El-Saadony, M. T., Yang, T., Korma, S. A., Sitohy, M., Abd El-Mageed, T. A., Selim, S., ... & Saad, A. M. (2023). Impacts of turmeric and its principal bioactive curcumin on human health: Pharmaceutical, medicinal, and food applications: A comprehensive review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1040259.
69. EMERAUX, E., & Rosella, M. S. 2019 FACULTE DE PHARMACIE.
70. Feillet, P. (2000). *Le grain de blé: composition et utilisation*. Quae.
71. Feillet, P., Autran, J. C., & Icard-Verniere, C. (2000). Mini review pasta brownness: An assessment. *Journal of Cereal Science*, 32(3), 215-233.
72. Florida, V. R., Yolla, R. M., Léonce, R. J., Everna, F. F., & Razafimahefa, t. J. L. (2017). Propriétés fonctionnelles et biochimiques de trois farines de patate douce récoltée dans la région atsinanana (functional and biochemical properties of the three sweet potato flours harvested in the atsinanana region).
73. Florida, V. R., Yolla, R. M., Léonce, R. J., Everna, F. F., & Razafimahefa, t. J. L. Propriétés fonctionnelles et biochimiques de trois farines de patate douce récoltée dans la région atsinanana (functional and biochemical properties of the three sweet potato flours harvested in the atsinanana region).
74. Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of biological chemistry*, 226(1), 497-509. Genot, C. (1996). Some factors influencing TBA test. Report of diet-ox project (AIRIII-CT-92-1577). Gardner HW, 1987. Reactions of hydroperoxides—Products of high molecular weight. *Autoxidation of unsaturated lipids*, Academic Press, London, UK, 51-93.
75. Földešiová, M., A. Baláži, L. Chrastinová and P. Chrenek (2015). "The effect of Curcuma longa dried powder in the diet on weight gain of rabbit does." Slovak Journal of Animal Science 48(1): 43-48.
76. Gacem, M., ZERROUKI, N., Lebas, F., & Bolet, G. (2009). Comparaison des performances de production d'une souche synthétique de lapins avec deux populations locales disponibles en Algérie. *Population*, 409, 7.
77. Gan, Z., Ellist, P.R. and Schofield, D. (1995). Mini review - Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21, 215-230.
78. Gayrard, C., A. Bretaudeau, P. Gombault, H. Hoste and T. N. Gidenne (2023). "Use of dehydrated sainfoin in rabbit feeding. Effects of a moderate dietary incorporation on

Références bibliographiques

- performance and health of does and growing rabbits under an optimal farming environment." *World Rabbit Science*31(1): 1-9.
79. Geissler, C., & Powers, H. J. (Eds.). (2023). *Human nutrition*. Oxford University Press.
80. Ghedadba, N., Hambaba, L., Ayachi, A., Aberkane, M. C., Bousselsela, H., & Oueld-Mokhtar, S. M. (2015). Polyphénols totaux, activités antioxydante et antimicrobienne des extraits des feuilles de *Marrubium deserti* de Noé. *Phytothérapie*, 13(2), 118-129.
81. Giannou, V., Kessoglou, V., & Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 99-108.
82. Giannou, V., Kessoglou, V., & Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 99-108.
83. Gómez-Salazar, J. A., D. A. Ochoa-Montes, A. Cerón-García, C. Ozuna and M. E. Sosa-Morales (2018). "Effect of acid marination assisted by power ultrasound on the quality of rabbit meat." *Journal of Food Quality*2018: 1-6.
84. Guibourdenche, J., Leguy, M. C., & Bonnet-Serrano, F. (2024). Hypothyroïdie: diagnostic et suivi chez l'adulte. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2024(565), 45-50.
85. Guibourdenche, J., Leguy, M. C., Laguillier-Morizot, C., & Bonnet-Serrano, F. (2024). Hyperthyroïdie: diagnostic et suivi. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2024(565), 51-56.
86. Gunaratne, A., & Hoover, R. (2002). Effect of heat–moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate polymers*, 49(4), 425-437.
87. Gyovai, P., I. Nagy, Z. Gerencsér, Z. Matics, I. Radnai, T. Donkó, Á. Bokor, J. Farkas and Z. Szendrő (2012). "Genetic parameters for litter weight, average daily gain and thigh muscle volume measured by in vivo computer tomography technique in Pannon White rabbits." *Livestock Science*144(1-2): 119-123.
88. Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C. & Chapelle, J. P. Le stress oxydant. *Rev. Med. Liege* 62(10) (2007).
89. Hayet, E. K., Hocine, L., & Meriem, E. K. (2017). Chemical composition and biological activities of the essential oils and the methanolic extracts of *Bunium*

Références bibliographiques

- incrassatum and Bunium alpinum from Algeria. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(1), 3335-3341.
90. Hazarika, I., & Das, A. (2016). Anticancer and antioxidant property of Buniumbulbocastanum fruits various fractions. *Res Rev: J Pharmacog*, 3(1), 9-13.
91. Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., Vincieri, F. F. & Romani, A. Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chem*. 99(3), 464–469 (2006).
92. Hoover, W. and R. Heitmann (1972). "Effects of dietary fiber levels on weight gain, cecal volume and volatile fatty acid production in rabbits." The Journal of nutrition102(3): 375-379.
93. Hossain, A. O. (2019). Carbimazole and its effects on thyroid gland of female rabbits. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 13(3), 305-311.
94. Huang, Y., J.F. Kok, M. Saito, and O. Muñoz, 2023: Single-scatteringproperties of ellipsoidal dust aerosols constrained by measured dust shape distributions. *Atmos. Chem. Phys.*, **23**, no. 4, 2557-2577, doi:10.5194/acp-23-2557-2023.
95. Ismail, Z., N. K. Ismail and B. E. Elmogy (2023). "Influence of Purification by Bio-Activated Carbon on Rabbit Urine Components." *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*14(3): 119-124.
96. ISO, I. 21415-2: 2015. Wheat and Wheat Flour—Gluten Content—Part, 2.
97. J. Ouhayoun, S. Cheriet, A. Lapanouse.,1983. Valorisation comparée d'aliments à niveaux protéiques différents, par des lapins sélectionnés sur la vitesse de croissance et par des lapins provenant d'élevages traditionnels. I - Etude des performances de croissance et de la composition du gain de poids. *Annales de zootechnie*, 1983, 32 (3), pp.257-276.
98. Jangchud, K., Phimolsiripol, Y., and HaruthaithanasanV. (2003). Physicochemical Properties of Sweet Potato Flour and Starch as Affected by Blanching and Processing. *Starch/Starke* 55:258–264.
99. Javadi, S., S. Asri-Rezaei and M. Allahverdizadeh (2014). Interrelationship of β -2 microglobulin, blood urea nitrogen and creatinine in streptozotocin-induced diabetes mellitus in rabbits. *Veterinary Research Forum: an International Quarterly Journal*, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran.

Références bibliographiques

100. Jones, K. R., Karuppusamy, S., & Sundaram, V. (2024). Unraveling the promise of agroindustrial byproducts as alternative feed source for sustainable rabbit meat production. *Emerging Animal Species*, 100044.
101. Junge, R. C., & Hosney, R. C. (1981). A mechanism by which shortening and certain surfactants improve loaf volume in bread. *Cereal Chemistry*, 58
102. Kamal, M. V., Belle, V. S., & Pai, S. R. K. (2022). Ethnobotanical review of *Buniumbulbocastanum* (Black Cumin) for the treatment of diseases: the clinical and mechanistic evidence. *YMER Digit*, 21(04), 374-388.
103. Karouche, S., Benbott, A., Henouda, S., Malki, S. & Boudchicha, I. Evaluation of phenolic content and biological activities of *Bunium mauritanicum* tubers. *J. Fundam. Appl. Sci.* 12(2), 916–930 (2020).
104. Karouche, S., Benbott, A., Henouda, S., Malki, S. & Boudchicha, I. Evaluation of phenolic content and biological activities of *Bunium mauritanicum* tubers. *J. Fundam. Appl. Sci.* 12(2), 916–930 (2020).
105. Karouche, S., Benbott, A., Henouda, S., Malki, S., & Boudchicha, I. (2020). Evaluation of phenolic content and biological activities of *Bunium mauritanicum* tubers. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 12(2), 916-930.
106. Kearney, J. 2010. « Food Consumption Trends and Drivers ». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1554): 2793–2807. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149>.
107. Khan I, Nisar W. Antioxidation and Antiglycation Properties of *Bunium bulbocastanum* Fruits Various Fractions and its Possible Role in Reducing Diabetes Complication and Ageing. *Vitam Miner.* 2014; 3: 118p
108. Khan, I., Ahmad, H., Ali, N., Ahmad, B., & Tanoli, H. (2013). Screening of *Buniumbulbocastanum* for antibacterial, antifungal, phytotoxic and haemagglutination activities. *Pak. J. Pharm. Sci.*, 26(4), 787-791.
109. Khanal, p., Paudel, n., Aryal, s., & Aryal, p. (2021). Phytochemical screening and evaluation of antidiarrhoeal activity of *buniumbulbocastanum* seeds extract in experimental wistar rats. *International journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 56-59.
110. Khlifi, D. et al. Composition and anti-oxidant, anti-cancer and anti-inflammatory activities of *Artemisia herba-alba*, *Ruta chalpensis* L. and *Peganum harmala* L.. *Food Chem. Toxicol.* 55, 202–208 (2013).

Références bibliographiques

111. Kinuthia, G. K., Ngure, V., Beti, D., Lugalia, R., Wangila, A., & Kamau, L. (2020). Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: community health implication. *Scientific reports*, 10(1), 8434.
112. Kito, M. S., Prince, M. N., & Ghislaine, K. M. (2024). Comparaison de l'incorporation alimentaire des farines d'escargots et de poissons sur la croissance des lapereaux. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 43(2), 327-333.
113. Kouider, H. A. D. J. A. D. J., Mohammed, B., Mohammed, M., Abdelkader, O., & Abdelkarim, R. A. H. M. O. U. N. E. (2019). Importance des plantes médicinales pour la population rurale du parc national de Djebel Aissa (Sud ouest algérien). *Lejeunia, Revue de Botanique*.
114. Kumari, B., Tiwari, B. K., Hossain, M. B., Rai, D. K. & Brunton, N. P. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from potato peels: Profiling and kinetic modelling. *Int. J. Food Sci. Technol.* 52(6), 1432–1439 (2017).
115. L. Parrenin, C. Danjou, R. Beauchemin, B(2021). Agard Prédiction de la qualité de la farine après mouture 14ème Conférence Internationale Génie Industriel CIGI-QUALITA, 5-7 mai, , Grenoble, France (2021)
116. LAFFOLAY B., 1985. Ingérés alimentaires journaliers par unité de poids. *Revue de l'Alimentation Animale* N° 383, 31-36.
117. Larzul, C., F. Gondret, S. Combes and H. De Rochambeau (2005). "Divergent selection on 63-day body weight in the rabbit: response on growth, carcass and muscle traits." *Genetics Selection Evolution*37(1): 105.
118. Lee, S. Y., & Pearce, E. N. (2023). Hyperthyroidism: a review. *Jama*, 330(15), 1472-1483.
119. Lefahal, M., Zaabat, N., Djarri, L., Benahmed, M., Medjroubi, K., Laouer, H., & Akkal, S. (2017). Evaluation of the antioxidant activity of extracts and flavonoids obtained from *Bunium alpinum* Waldst. & Kit.(Apiaceae) and *Tamarix gallica* L.(Tamaricaceae). *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, 30(1), 5-8.
120. Lounaouci G,2001. Alimentation du lapin de chair dans les conditions de productions algériennes. Thèse de magistère de l'Institut d'Agronomie de Blida. 129p
121. Lowry, O. H. (1951). Rosebrough, NJ, Farr, AL, and Randall, RJ Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. biol. Chem*, 193(1), 265-275.
122. Malbos, D. (2024). Une hypothyroïdie. *Actualités Pharmaceutiques*, 63(634), 27-30.

Références bibliographiques

123. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C. & Jiménez, L. Polyphenols: Food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 79(5), 727–747 (2004).
124. Martínez-Huélamo, M. et al. Sensitive and rapid UHPLC–MS/MS for the analysis of tomato phenolics in human biological samples. *Molecules* 20(11), 20409–20425 (2015).
125. Mebis, L., Y. Debaveye, B. Ellger, S. Derde, E.-J. Ververs, L. Langouche, V. M. Darras, E. Fliers, T. J. Visser and G. Van den Berghe (2009). "Changes in the central component of the hypothalamus-pituitary-thyroid axis in a rabbit model of prolonged critical illness." *Critical Care* **13**: 1-10.
126. Mèdecè Romaine Capo-Chichi , Antoinette Adjagodo , Micheline Agassounon Djikpo Tchibozo , Hubert Sagbadja Adoukonou , Paul Fidèle Tchobo , Corneille Ahanhanzo and Clément Agbangla (2019). Contamination en micropolluants métalliques d'agbelima, un derive du manioc (manihot esculenta crantz, euphorbiaceae) produit au sud-benin. *Int. J. Adv. Res.* 7(12), 198-206.
127. Melillo, A. (2007). "Rabbit clinical pathology." *Journal of exotic pet medicine* **16**(3): 135-145.
128. Morand, C. (2014). Intérêt des aliments riches en flavonoïdes pour le maintien de la santé cardio-métabolique. *Médecine des maladies métaboliques*, 8(5), 477-482.
129. Moulla F. . Yakhlef H. . Ziki B, (2007). L'évaluation des paramètres de croissance et du rendement à l'abattage du lapin de population locale. *Recherche Agronomique* Volume 11, Numéro 19, Pages 65-71 2007-06-19
130. Mpika, J., Moukiam, S. G. B., & Makanga, O. L. D. E. (2024). Effet de la position des mini-sets des tubercules sur la productivité d'ignames cultivées à Brazzaville (Congo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(3), 818-834.
131. Muna H. AL – Saeed, Abdullah Anas.,2017. Evaluation of the protective role of seeds oil of linum usitatissimum on oxidative stress of physiological parameters and some aspect of heart tissue in hyperthyroidism female rabbits. *Life science archives (lsa)* issn: 2454-1354 volume – 3; issue - 2; year – 2017; page: 1035 – 1049 doi: 10.22192/lisa.2017.3.2.10.

Références bibliographiques

132. Nasr, M. B., El Ajmi, W., Sellem, A., & Hammami, H. (2023, October). L'hypothyroïdie congénitale par déficit en transporteur d'iode (NIS): rôle clé de la scintigraphie thyroïdienne. In *Annales d'Endocrinologie* (Vol. 84, No. 5, p. 601). Elsevier Masson.
133. Ndangui, C. B. (2015). Production et caractérisation de farine de patate douce (*IpomoeabatatasLam*): optimisation de la technologie de panification. *Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules*, 151p.
134. NF ISO 712 juin 1989. Céréales et produits céréaliers - Détermination de la teneur en eau - (méthode de référence pratique)
135. Oso, A.O., Oso, O., Bamgbose, A.M., Eruvbetine, D., 2010. Utilization of unpeeledcassava (*Manihot esculenta*) root meal in diets of weaner rabbits. *Livest. Sci.* 127(2-3), 192-196.
136. Panda, S., Kar, A., Singh, M., Singh, R. K., & Ganeshpurkar, A. (2021). Syringic acid, a novel thyroid hormone receptor- β agonist, ameliorates propylthiouracil-induced thyroid toxicity in rats. *Journal of biochemical and molecular toxicology*, 35(8), e22814.
137. Paraskevi, Moutsatsou.(2007).The spectrum of phytoestrogens in nature : our knowledge is expanding. *Hormones*, 6 (3) : 173-193.
138. Parfait, B. T. S., & Lawrence, M. T. J. (2023). Pharmacognosy, Phytotherapy and Modern Medicine. *Int Jr Infect Dis &Epidemlgy*, 23(4), 1.
139. Parrenin, L., Danjou, C. H. R. I. S. T. O. P. H. E., Beauchemin, R. O. B. E. R. T., & Agard, B. R. U. N. O. (2021). Prédiction de la qualité de la farine après mouture. In 14eme Conférence Internationale Génie Industriel CIGI-QUALITA, 5-7 mai, Grenoble, France.
140. Picot,A., Ducret, J., & Fremiot, T. (2018). Le lévothyrox: un médicament à l'humeur variable.
141. Pinheiro, V., & Gidenne, T. (2024). Rabbit Nutrition and Feeding. In *Veterinary Care of Farm Rabbits: A Complete Practice Guide to Rabbit Medicine and Production* (pp. 201-234). Cham: Springer International Publishing.
142. Punthakee, Zubin, Ronald Goldenberg, et Pamela Katz. 2018. « Définition, Classification and Diagnosis of Diabetes, Prediabetes and Metabolic Syndrome ».

Références bibliographiques

- Canadian Journal of Diabetes 42 (avril): S1015.
<https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2017.10.003>.
143. Ragab, M., J. Ramon, O. Rafel, R. Quintanilla, M. Piles and J. Sanchez (2015). "Paramètres génétiques des phénotypes liés aux maladies chez le lapin en engraissement nourri avec deux régimes alimentaires différents." Proc. 16ème Journées de la Recherche Cunicole. Le Mans, France. 6972.
144. Ražná, K., Khasanova, N., Ivanišová, E., Qahramon, D., & Habán, M. (2018). Antioxidant properties of cumin (*Bunium persicum* Boiss.) extract and its protective role against ultrasound-induced oxidative stress tested by microRNA based markers. *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*, 12(1).
145. Redeuil, K. et al. Quantification of flavan-3-ols and phenolic acids in milk-based food products by reversed-phase liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1216(47), 8362–8370 (2009).
146. Ricciardolo, L. (2023). Mediterranean plants in the management of diabetes and its complications.
147. Rickard, J. E., Coursey, D. G. (1981). Cassava storage. *Tropical Science*.23. 1-32.
148. Roussel, P. & Chiron, H. (2002). Les pains français. Evolution, qualité, production. Mae Erti. Vesoul, France.
149. ROUSSEL, P., CHIRON, H., DELLA VALLE, G., & NDIAYE, A. (2010). Glossaire terminologique appliqué aux pains français
150. ROUSSEL, P., CHIRON, H., DELLA VALLE, G., & NDIAYE, A. (2010). Glossaire terminologique appliqué aux pains français
151. Roussel, P., Onno, B., Michel, E., & Sicard, D. (2020). La panification au levain naturel (p. 100). éditions Quae.
152. SAADOUNI Rabiaa, B. H. (2020). *Impacts de l'ingestion de Bunium bulbocastanum" Noix de Terre" sur la fonction testiculaire chez la souris Balb/C* (Doctoral dissertation).
153. Sablani, S. S., Marcotte, M., Baik, O. D., & Castaigne, F. (1998). Modeling of simultaneous heat and water transport in the baking process. *LWT-Food Science and Technology*, 31(3), 201-209.
154. Sablani, S. S., Marcotte, M., Baik, O. D., & Castaigne, F. (1998). Modeling of simultaneous heat and water transport in the baking process. *LWT-Food Science and Technology*, 31(3), 201-209

Références bibliographiques

155. Saidj, D., H. Ainbaziz, M. Dahmani, I. Iles, K. Si Ammar, J.-L. Hornick and N. Moula (2021). Effect of dietary protein level on milk production of Algerian local rabbit does. 12th World Rabbit Congress.
156. Šaponjac, V. T., Čanadanović-Brunet, J., Četković, G., & Djilas, S. (2016). Detection of bioactive compounds in plants and food products. *Emerging and traditional technologies for safe, healthy and quality food*, 81-109.
157. Sarni-Manchado, P., & Cheynier, V. (Eds.). (2006). *Les polyphénols en agroalimentaire*. Techniques & documentation.
158. Schlolaut W., Walter A., Lange K., 1984. Fattening performance and carcass quality in the rabbit in dependence of the final fattening weight and the fattening method [in English]. Proceedings 3rd World Rabbit Congress, 4-8 April 1984, Rome – Italy, Vol. 1, 445-452
159. Scott, W.J., (1953). Water Relations of Staphylococcus Aureus at 30 °C. Australian Journal Biology Science. n° 6.p.549-56.
160. Shahid,M., Ghulam A., Khalid S., Shahid N. (2015). Heavy metal stress and crop productivity.Crop Production and Global Environmental Issues, DOI 10.1007/978-3-319-23162-4_1.
161. Sharafati Chaleshtori, R. & Fallah, M. Antibacterial effect of Bunium persicum, Eucalyptus globules, and Allium ampeloprasum extracts on STEC and MRSA in commercial barley soup. Adv. Herb. Med. 5(2), 9–20 (2019).
162. Shehzad, A. (2010). Rôle du pétrissage de farine de blé sur les propriétés rhéologiques de la pâte et la texture du pain (Doctoral dissertation, Nantes).
163. Shivane, V., Mehta, N., Jhaveri, A., & Memon, S. S. (2024). Carbimazole-associated Pancreatitis: Report From Western India. *JCEM Case Reports*, 2(1), 155.
164. Shulhai, A. M., Rotondo, R., Petraroli, M., Patianna, V., Predieri, B., Iughetti, L., ... & Street, M. E. (2024). The role of Nutrition on thyroid function. *Nutrients*, 16(15), 2496.
165. Siddiqui, S. A., Adli, D. N., Nugraha, W. S., Yudhistira, B., Lavrentev, F. V., Shityakov, S., ... & Ibrahim, S. A. (2024). Social, ethical, environmental, economic and technological aspects of rabbit meat production-A critical review. *Heliyon*.
166. Simões, J. (2024). *Veterinary Care of Farm Rabbits: A Complete Practice Guide to Rabbit Medicine and Production*. Springer Nature.

Références bibliographiques

167. Sinosaki, N. et al. Structural study of phenolic acids by triple quadrupole mass spectrometry with electrospray ionization in negative mode and H/D isotopic exchange. *J. Braz Chem. Soc.* 31, 402–408 (2020).
168. Sinosaki, N. et al. Structural study of phenolic acids by triple quadrupole mass spectrometry with electrospray ionization in negative mode and H/D isotopic exchange. *J. Braz Chem. Soc.* 31, 402–408 (2020).
169. Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3), 456-467.
170. Solomon, I., S. Oyebadejo, E. Ukpo and O. Joseph (2015). "Changes in serum electrolyte, creatinine and urea of fresh Citrus limon juice administered to growing rabbits (*Oryctolagus cuniculus*)." *International Journal of Agricultural Science Research*4(8): 180-183.
171. SOUCI, SW., Fachman W., Kraut H., (1994). *Food Composition and Nutrition Tables. Medpharm. Stuttgart: CRC Press.*
172. Souri, E., Amin, G., Farsam, H. & Barazandeh, T. M. Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts (2008).
173. Standard, C. (1995). Standard 176-1989; Codex Standard for Edible Cassava Flour. *FAO/WHO: Rome, Italy.*
174. Steckel, A. & Schlosser, G. An organic chemist's guide to electrospray mass spectrometric structure elucidation. *Molecules* 24(3), 611 (2019).
175. Taga R., (1995). Panification : les farines composées une technologie facile à maîtriser *Bulletin du Réseau TPA n°10-Juin.*
176. Taghizadeh, S. F., Davarynejad, G., Asili, J., Nemati, S. H. & Karimi, G. Assessment of phenolic profile and antioxidant power of five pistachio (*Pistacia vera*) cultivars collected from four geographical regions of Iran. *Avicenna J. Phytomed.* 8(1), 33 (2018).
177. Teixidor-Toneu, I., Martin, G. J., Ouhammou, A., Puri, R. K., & Hawkins, J. A. (2016). An ethnomedicinal survey of a Tashelhit-speaking community in the High Atlas, Morocco. *Journal of ethnopharmacology*, 188, 96-110.
178. Thebud, R., Santarius K.A. (1982). Effects of High Temperature Stress on Various Biomembranes of Leaf Cells in situ and in vitro. *Plant Physiol.* 70. 200-205.

Références bibliographiques

179. Van Hal, M. (2000). Quality of sweetpotato flour during processing and storage. *Food Reviews International*, 16(1), 1-37.
180. Van Soest, P. J., & McQueen, R. W. (1973). The chemistry and estimation of fibre. *Proceedings of the Nutrition Society*, 32(3), 123-130.
181. Vindras-Fouillet, C., Goldringer, I., van Frank, G., Dewalque, M., Colin, A., Montaz, H., ... & Dalmaso, C. (2021). Sensory analyses and nutritional qualities of wheat population varieties developed by participatory breeding. *Agronomy*, 11(11), 2117.
182. Vindras-Fouillet, C., Goldringer, I., van Frank, G., Dewalque, M., Colin, A., Montaz, H., ... & Dalmaso, C. (2021). Sensory analyses and nutritional qualities of wheat population varieties developed by participatory breeding. *Agronomy*, 11(11), 2117.
183. Vodouhe-Egueh, S., Alidou, C., Aboudou, K., & Soumanou, M. M. (2017). Formulation de biscuits a base de farine de ble enrichie a la farine de patate douce a chair orange. *Afrique Science*, 13(6), 405-416.
184. Wang, X., J. Li, D. Zhou, J. Qin, Y. Xu, Q. Lu and X. Tian (2024). "Effects of *Rosa roxburghii* tratt seed on the growth performance, meat quality, and sensory evaluation characteristics in growing rabbits." *Meat Science* 208: 109394.
185. Wang, Z. et al. In vitro antioxidant analysis of flavonoids extracted from *Artemisia argyi* stem and their anti-inflammatory activity in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Food Chem.* 407, 135198 (2023).
186. Wang, Z., He, Z., Emara, A. M., Gan, X., & Li, H. (2019). Effects of malondialdehyde as a byproduct of lipid oxidation on protein oxidation in rabbit meat. *Food Chemistry*, 288, 405-412.
187. Warda, B. A., Djilali, B., Said, D., Ahmed, B., & Zineb, B. (2023). Physicochemical and Rheological Properties of "Buniumbulbocastanum" Earth-nut Flour. *Agricultural Science Digest*, 43(6), 829-833.
188. Yesli, A., Latreche, S., Aissiou, M. Y. E. A., & Azzouz, L. (2021). The rheological properties of soft wheat flour fortified with carob pulp powder (*Ceratonia siliqua* L)

Références bibliographiques

189. Yildiz-Gulay, O. and M. Gulay (2024). "Punicalagin Improved the Oxidant-antioxidant Status in Male New Zealand White Rabbits." Indian Journal of Animal Research58(2).